

PLANIFICACIÓN Y MODELACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA COMO
ALTERNATIVA PARA LA ILUMINACIÓN EN EDIFICACIONES EDUCATIVAS

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA

Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERO
ELÉCTRICO

TEMA:
“PLANIFICACIÓN Y MODELACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN
FOTOVOLTAICA COMO ALTERNATIVA PARA LA ILUMINACIÓN EN
EDIFICACIONES EDUCATIVAS”

AUTOR:
ANDRÉS EDUARDO NOVOA MARTÍNEZ

DIRECTOR:
Ing. DIEGO CARRIÓN

Quito, marzo de 2015

DECLARATORIA DE AUTORÍA:

Yo, ANDRÉS EDUARDO NOVOA MARTÍNEZ autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, 19 de Marzo del 2015

Andrés Eduardo Novoa Martínez
CC: 1716629363

AUTOR

CERTIFICACIÓN:

Yo, Ing. Diego Francisco Carrión Galarza certifico haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos técnicos y financiero del informe de tesis titulada; “Planificación y Modelación de Sistemas de Generación Fotovoltaica como Alternativa para la Iluminación en Edificaciones Educativas”, realizada por el Sr. Andrés Eduardo Novoa Martínez, previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Por cumplir los requisitos autoriza su presentación.

Quito, 19 de Marzo del 2015

Ing. Diego Francisco Carrión Galarza

DIRECTOR

DEDICATORIA.

Andrés Eduardo Novoa Martínez

Este proyecto es dedicado

*A Dios por brindarme el conocimiento
y perseverancia en los momentos difíciles.*

*A mis padres por el apoyo
incondicional brindado.*

*A mi esposa y mi hijo
gracias por su amor y motivación
diaria que me impulso a terminar una etapa
de mi vida.*

AGRADECIMIENTO.

Andrés Eduardo Novoa Martínez

*Mi profundo agradecimiento a la Universidad Politécnica
Salesiana por formar mi carrera profesional,
con principios éticos y morales.*

*Al Ing. Diego Carrión por ser la persona
que aportó con su conocimiento, tiempo y esfuerzo
para culminar este trabajo.*

*Y a todos los docentes del campus Kennedy quienes
impartieron su conocimiento en el transcurso
de mi carrera.*

INDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA:	ii
DEDICATORIA.	II
AGRADECIMIENTO.	III
INDICE GENERAL	IV
INDICE FIGURAS	VII
INDICE TABLAS	IX
INDICE ANEXOS	X
RESUMEN.	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCION	1
CAPÍTULO I	2
SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENERGÍA EN ECUADOR	2
1.1 Recursos energéticos.	2
1.1.1 Energía primaria.	3
1.1.2 Energía secundaria.	4
1.1.3 Energía en el mundo.	4
1.2 Fuentes renovables de energía.	5
1.2.1 Energías renovables convencionales.	5
1.2.2 Energías renovables no convencionales.	7
1.2.2.1 Recursos renovables no convencionales en el Ecuador.	7
1.3 Situación fotovoltaica en el Ecuador.	9
1.3.1 Cuantificación del recurso solar.	9
1.3.2 Proyectos fotovoltaicos en el Ecuador.	11
1.4 Normativa del sector eléctrico para sistemas fotovoltaicos.	13
1.4.1 Esquemas regulatorios a nivel internacional.	14
1.4.1.1 California.	14
1.4.1.1.1 Iniciativa solar de California.	14
1.4.1.1.2 Nueva asociación de casas solares.	15
1.4.1.2 Alemania.	16
1.4.1.2.1 Certificaciones.	18
1.4.1.3 Italia.	18
1.4.1.3.1 Incentivos fotovoltaicos.	18
CAPÍTULO II	20
GENERACIÓN FOTOVOLTAICA	20
2.1 Energía fotovoltaica.	20

2.1.1 Ventajas.	21
2.1.2 Desventajas.....	21
2.1.3 Formas de generación fotovoltaica.....	22
2.1.3.1 Celdas solares o fotovoltaicas.....	22
2.1.4 Elemento de un sistema fotovoltaico.....	22
2.2 Tipos de sistemas fotovoltaicos.....	24
2.2.1 Sistemas fotovoltaicos aislados.	25
2.2.1.1 Componentes de un sistema fotovoltaico aislado.	25
2.2.1.2 Clasificación de sistemas fotovoltaicos aislados.	25
2.2.1.2.1 Sistemas fotovoltaicos aislados directos sin acumulación.	26
2.2.1.2.2 Sistemas fotovoltaicos aislados con acumulación.....	26
2.2.2 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.	27
2.2.2.1 Componentes de un sistema fotovoltaico conectado a la red.	28
2.2.3 Sistemas fotovoltaicos híbridos.....	29
2.3 Generación distribuida.	29
2.3.1 Definiciones de generación distribuida.	30
2.3.2 Ventajas de la generación distribuida.....	31
2.3.3 Desventajas de la generación distribuida.	32
2.3.4 Clasificación generación distribuida.	32
2.3.5 Aplicaciones de la generación distribuida.....	33
2.4 Microredes eléctricas.....	33
2.4.1 Ventajas de las microredes eléctricas.	34
2.4.2 Componentes microredes eléctricas.	35
CAPÍTULO III.....	36
DISEÑO DE LA MICRO RED ELÉCTRICA	36
3.1 Modelación del recurso solar.....	36
3.1.1 Radiación solar.	37
3.1.2 Componentes de la radiación solar.....	38
3.1.3 Irradiación solar.....	39
3.1.3.1 Irradiación solar diaria.	43
3.2 Cuantificación de la potencia.	43
3.2.1 Determinación de la potencia máxima.	47
3.3 Componentes del sistema.	48
3.3.1 Calculo del número de módulos fotovoltaicos.....	48
3.3.2 Calculo de arreglos de los módulos fotovoltaicos.....	49
3.3.3 Determinación de número de los inversores.	50
3.3.4 Determinación distancia entre módulos.	50

3.3.5	Cálculo de protecciones.....	51
3.3.6	Cálculo de conductores.	52
3.4	Modelo de gestión del sistema.	53
CAPÍTULO IV.....		59
RESULTADOS ESPERADOS.....		59
4.1	Mapa de ruta para edificaciones educativas.	59
4.1.1	Precios energías solar fotovoltaica en Ecuador.	60
4.1.2	Paridad fotovoltaica en el mundo.	62
4.2	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.	62
4.3	Impacto social.....	64
4.3.1	Impacto laboral.....	64
4.3.2	Impacto en el medio ambiente.....	65
4.3.3	Impacto entorno familiar.	65
4.4	Análisis costo benefico.....	66
4.4.1	Cálculo de la producción energética.	66
4.1.1	Presupuesto del sistema fotovoltaico.	66
4.1.2	Movimientos de flujo del capital del sistema fotovoltaico.....	68
4.1.3	Relación costo beneficio.	69
4.1.4	Cálculo del valor presente o actual neto (VAN).	69
4.1.5	Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR).	70
CONCLUSIONES		71
RECOMENDACIONES		73
ANEXOS		74
REFERENCIAS.....		100

INDICE FIGURAS

Figura 1.1: Consumo mundial de energía primaria por fuentes.....	3
Figura 1.2: Perspectiva de crecimiento de la demanda mundial de energía primaria..	5
Figura 1.3: Esquema de una central hidroeléctrica.	6
Figura 1.4: Producción anual de energía eléctrica a nivel nacional por tipo de fuente energética.	8
Figura 1.5: Insolación Global Promedio.	10
Figura 1.6: Infocentro Eurosolar, Paneles Solares, baterías y antena.	12
Figura 1.7: Proyección de la potencia instalada en energías renovables.	16
Figura 2.1: Elementos Fundamentales de una Instalación Fotovoltaica.	24
Figura 2.2: Clasificación de los sistemas fotovoltaicos.	24
Figura 2.3: Sistemas fotovoltaicos aislados directos.	26
Figura 2.4: Sistemas fotovoltaicos aislados con acumulación.	27
Figura 2.5: Sistemas fotovoltaicos para conexión a la red.....	28
Figura 3.1: Comportamiento Anual de la Radiación Solar Extraterrestre.	38
Figura 3.2: Universidad Politécnica Salesiana Campus Kennedy ubicación en Google Earth.	40
Figura 3.3: Comportamiento Mensual de la Irradiación Solar sobre una Superficie Inclinada.....	42
Figura 3.4: Comportamiento Diario de la Irradiación Solar sobre una Superficie Inclinada para el mes de Junio	43
Figura 3.5: Fachada Frontal Universidad Politécnica Salesiana Campus Kennedy ..	44
Figura 3.6: Área Mecánica Universidad Politécnica Salesiana Campus Kennedy	45
Figura 3.7: Área Eléctrica Universidad Politécnica Salesiana Campus Kennedy	45
Figura 3.8: Altillos de Mecánica y Eléctrica Universidad Politécnica Salesiana Campus Kennedy.	46
Figura 3.9: Segundo Piso Universidad Politécnica Salesiana Campus Kennedy	47
Figura 3.10: Tercer Piso Universidad Politécnica Salesiana Campus Kennedy.....	47
Figura 3.11: Distancia mínima entre paneles.	50
Figura 3.12: Datos técnicos de los calibres de conductores THHN.....	53
Figura 3.13: Diagrama del sistema fotovoltaico conectado a la red.	54
Figura 3.14: Curvas de Carga y Generación Sistema Fotovoltaico.	56
Figura 3.15: Curva de consumo del sistema fotovoltaico.....	57

Figura 3.16: Curva de consumo de la red distribuidora.	57
Figura 3.17: Curva de consumo fotovoltaico y red distribuidora.	58

INDICE TABLAS

Tabla 1.1: Disposición de Energías renovables en el Ecuador.	8
Tabla 1.2: Presupuesto Iniciativa Solar California.	15
Tabla 1.3: Tarifas Fotovoltaicas en Alemania.	17
Tabla 1.4: Tipos de Incentivos cuarto Conto Energía.....	19
Tabla 3.1: Valores del coeficiente A.....	40
Tabla 3.2: Valores del coeficiente B para todo el año.	41
Tabla 3.3: Valores de irradiación sobre una superficie horizontal.....	41
Tabla 3.4: Valores de irradiación solar mensual sobre una superficie inclinada.	42
Tabla 3.5: Determinación de la Potencia Máxima.	48
Tabla 3.6: Distribución de cargas en inversores.	53
Tabla 3.7: Estimación de potencia de carga y generación.	55
Tabla 4.1: Valores Precios Preferentes para Energía Renovable en (cUSD/kWh)...	60
Tabla 4.2: Montos a consignar por el FERUM.	61
Tabla 4.3: Costo de Energía Fotovoltaica en el Mundo.....	62
Tabla 4.4: Producción energética mensual.....	67
Tabla 4.5: Presupuesto del Sistema Fotovoltaico.	67
Tabla 4.6: Movimiento de Flujo del Capital.	68

INDICE ANEXOS

ANEXO A..... 75

ANEXO B..... 79

ANEXO C..... 81

ANEXO D..... 81

ANEXO E 82

ANEXO F 83

ANEXO G..... 84

ANEXO H..... 86

ANEXO I 88

ANEXO J 90

ANEXO K..... 92

ANEXO L 94

ANEXO M 96

ANEXO N..... 98

RESUMEN

“PLANIFICACIÓN Y MODELACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA COMO ALTERNATIVA PARA LA ILUMINACIÓN EN EDIFICACIONES EDUCATIVAS”

Andrés Eduardo Novoa Martínez

anovoa83@hotmail.com

Universidad Politécnica Salesiana

Resumen— Debido a que en la actualidad el Ecuador y el resto del mundo se encuentran en la búsqueda de la implementación de energías renovables para la generación de energía eléctrica, en el presente trabajo pretende establecer una planificación y modelación de sistema de generación fotovoltaica como alternativa para la iluminación en instituciones educativas que permita a estas instituciones incorporar estos sistemas con el fin de disminuir con la contaminación ambiental, el poder generar un ahorro económico al reducir el consumo de energía de la red local. En nuestro país no existe una regulación o procedimiento para la implementación de sistemas de generación fotovoltaica por ello se toma a normas internacionales para el diseño y construcción, a pesar de esto el estado con sus entes de regulación incentiva la incorporación de estos sistemas. Es importante conocer el funcionamiento y componentes que conforman estos sistemas entre los elementos principales se tiene a los módulos fotovoltaicos, inversos, medidores bidireccionales.

El análisis se lo realizó con la modelación del recurso solar obteniendo datos anuales, mensuales y diarios, con ello y tomando como institución educativa tipo al campus Kennedy de la Universidad Politécnica Salesiana cuantificando la potencia de iluminación de todas sus áreas, se realizó el diseño de los componentes del sistema fotovoltaico. Se efectuó un modelo de gestión del sistema diseñado donde se plantea las horas de consumo por parte del sistema fotovoltaico y consumo de la red local, indicando que el sistema también puede vender energía eléctrica a la red de distribuidora local, luego de desarrollar el análisis costo beneficio dicho proyecto tiene una alta rentabilidad.

ABSTRACT

"PLANNING AND MODELING OF PHOTOVOLTAIC GENERATION SYSTEMS AS AN ALTERNATIVE TO THE LIGHT IN EDUCATIONAL BUILDINGS"

Andrés Eduardo Novoa Martínez

anovoa83@hotmail.com

Universidad Politécnica Salesiana

Abstract— Because now the Ecuador and the rest of the world are in search of the implementation of renewable energy for electricity generation, in this paper aims to establish a planning and modeling of photovoltaic generation system as an alternative for lighting in educational institutions that allow these institutions to incorporate these systems in order to reduce environmental pollution, power generating cost savings by reducing the energy consumption of the local network. In our country there is no regulation or procedure for implementing photovoltaic generation systems for it to international standards for design and construction is taken, despite this state with regulatory bodies encourages the incorporation of these systems. It is important to know the operation and components that make up these systems among the main elements you have to photovoltaic, reverse, bidirectional meters modules.

The analysis was performed with the solar resource modeling obtaining annual, monthly and daily data, thereby taking as school guy Kennedy of the Salesian Polytechnic University campus quantifying the lighting power of all areas, the design was carried out PV system components. A management model of the designed system which raises the hours of consumption by the PV system and use of the local network, indicating that the system can also sell electricity to the network of local distributor energy, after developing cost analysis was performed benefit the project has a high profitability.

INTRODUCCION

El sector eléctrico en el Ecuador se basa en gran medida en la generación hidráulica, seguido de la generación térmica, esta última genera algún tipo de contaminación ambiental como las emisiones de CO₂ o los gases de tipo invernadero causantes del llamado calentamiento global. Por esta razón en el mundo entero y por ende en nuestro país se ve en la necesidad de implementar estrategias que les permitan incluir nuevas fuentes de energías renovables, el gobierno ecuatoriano ha venido impulsando el desarrollo de eficiencia energética, buscando el ahorro de energía y planteando un sistema de medidas que contribuyan a mejorar la eficiencia energética, reduciendo las emisiones y desechos, el estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

Por lo que las empresas públicas y privadas, ya sean pequeñas, medianas o grandes, así como las instituciones educativas, se ven en la necesidad de implementar estrategias que les permitan incluir nuevas fuentes de generación de energía eléctrica renovable como la energía solar que permite tener una energía limpia y renovable, además de aprovechar los altos niveles de irradiación solar que existen en el país. Desafortunadamente no existe una planificación y modelación para la implementación de este tipo de sistemas de generación fotovoltaica.

Considerando que la energía solar fotovoltaica es una de las fuentes más prometedoras de energía renovable en el mundo, que además comparada con las fuentes no renovables de energía, las ventajas son claras. La pertinencia de este proyecto es la planificación y modelación de un sistema de generación fotovoltaico, que será enfocado a la iluminación en instituciones educativas.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENERGÍA EN ECUADOR

En el capítulo I del presente proyecto se describen en conceptos básicos lo que son recursos energéticos, tanto a las energías primarias como energías secundarias, las condiciones de las energías en el mundo actual. Refiriéndose a que en el mundo se busca la implementación de recursos renovables para eliminar la contaminación ambiental y el uso de combustibles fósiles, tomando como referencia que en un 80% a nivel mundial se usa combustible fósil para la generación de electricidad, también se analiza las fuentes de energía convencional y no convencional, el estado de la situación fotovoltaica en el Ecuador, a su vez que el estado ecuatoriano debería basarse en las normas internacionales como la de California, Alemania e Italia para tener como referencia las normativas y los incentivos incorporados por estos países para que los usuarios implementen sistemas fotovoltaicos. La importancia de la energía solar exponiendo a su vez que es una fuente renovable e inagotable por lo tanto se da énfasis a la búsqueda de implementación de diseños basados en la energía solar para una eficiencia energética.

1.1 Recursos energéticos.

Al hablar de recursos energéticos denominamos a cualquier sustancia sea esta líquida, sólida o gaseosa a su vez los medios y recursos que ofrece la naturaleza, a partir de los cuales se realiza un proceso industrial o artesanal para llegar a obtener energía eléctrica, que puede ser utilizada por los usuario para actividades domésticas, laborales o de distracción, entre otras más , en su mayoría estos recursos son provenientes de los enlaces covalentes de los átomos del carbono, como ejemplo de energía energética tenemos a los hidrocarburos, los mismos que son compuestos orgánicos formados únicamente por enlaces de carbono e hidrógeno que contienen grandes cantidades de energía química.

Estos pueden clasificarse como orgánicos o también llamados “combustible fósil” que son aquellos que se presentan en forma natural en el medio ambiente, gran parte

son los hidrocarburos naturales como; gas natural, carbón, petróleo, por otra parte su otra clasificación son los inorgánicos, que son los recursos utilizados por el ser humano para producir energía de una manera inorgánica [1].

Todo recurso tiene su origen en la naturaleza, es decir el por qué y para qué son hechos, pero algunos de estos recursos son modificados completamente por el ser humano, o bien requieren un proceso especial para explotar su recurso energético.

1.1.1 Energía primaria.

La energía primaria es toda forma de energía comprendida en una fuente natural o captada de ella, precisa a ser sometida a cualquier transformación; para ejemplo de lo mencionado tenemos al petróleo extraído de pozos ubicados en la amazonia ecuatoriana, la energía solar que incide sobre la superficie terrestre, entre otras [2].

La fuente de energía primaria más utilizada a lo largo de la historia es el carbón natural y la biomasa, por su abundancia, facilidad de extracción y uso. En la actualidad la fuente más monopolizada es el petróleo, posteriormente se tiene a el gas natural y el carbón originario de los yacimientos del petróleo, todos estos suponen casi el 90% del utilización energético primario mundial [3].

En la figura 1.1 [3], se puede apreciar los porcentajes de consumo mundial de las fuentes de energía primaria.

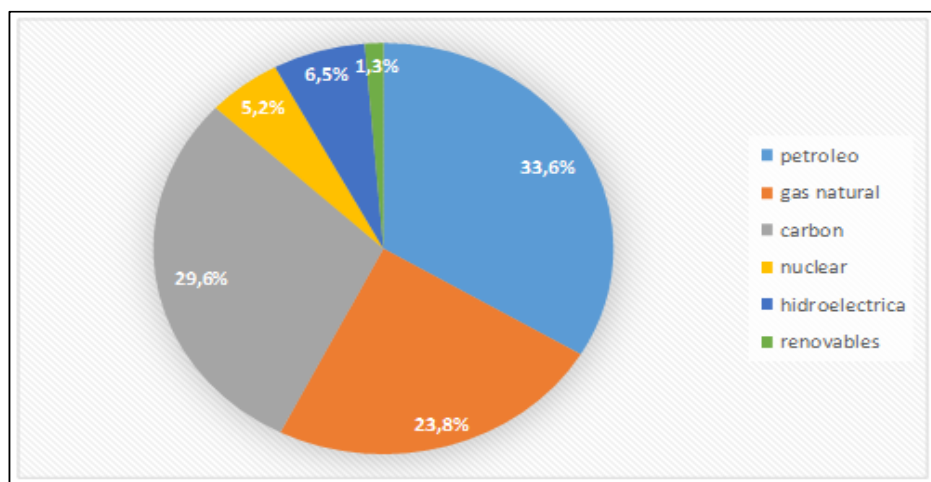


Figura 1.1: Consumo mundial de energía primaria por fuentes.

Fuente: Propia del Autor.

1.1.2 Energía secundaria.

Dentro de la energía secundaria son mencionados los productos provenientes de la transformación de los recursos primarios, o puede darse en determinados casos a partir de otra fuente energética ya producida, el proceso de transformación puede ser físico, químico o bioquímico alterando sus características iniciales.

Las fuentes de energía secundaria todos los derivados del petróleo, el carbón mineral, gas natural, en el grupo de los procedentes del petróleo se envuelve a los productos energéticos útiles que se obtienen a partir del procesamiento del mismo en las refinerías, entre los cuales se pueden encontrar las gasolinas, diésel, kerosene, gas licuado (GLP) y otros [4].

1.1.3 Energía en el mundo.

El mundo dispone de recursos energéticos en cantidades abundantes, sin embargo si se analizan cada una de las fuentes energéticas, esta previsión cambia debido a que la situación energética se ha convertido en una gran preocupación a nivel mundial, ya que en un 80% proviene de combustibles fósiles [5] . Si se observa en la actualidad este modelo energético es poco sostenible debido a la incidencia del medio ambiente por las emisiones de CO₂, a su vez los recursos energéticos fósiles son limitados, por otra parte las reservas de carbón son cuantiosas, mientras que los hidrocarburos son menos.

Las energías renovables representan casi la mitad del incremento de la generación mundial y las fuentes variables como eólica , solar fotovoltaica y geotérmica constituyen hasta el 45% de la expansión en renovables [6].

En la figura 1.2 [7], se ilustra la matriz energética mundial de consumo de energía primaria, la misma que indica los datos de la evolución previsible hasta el año 2035.

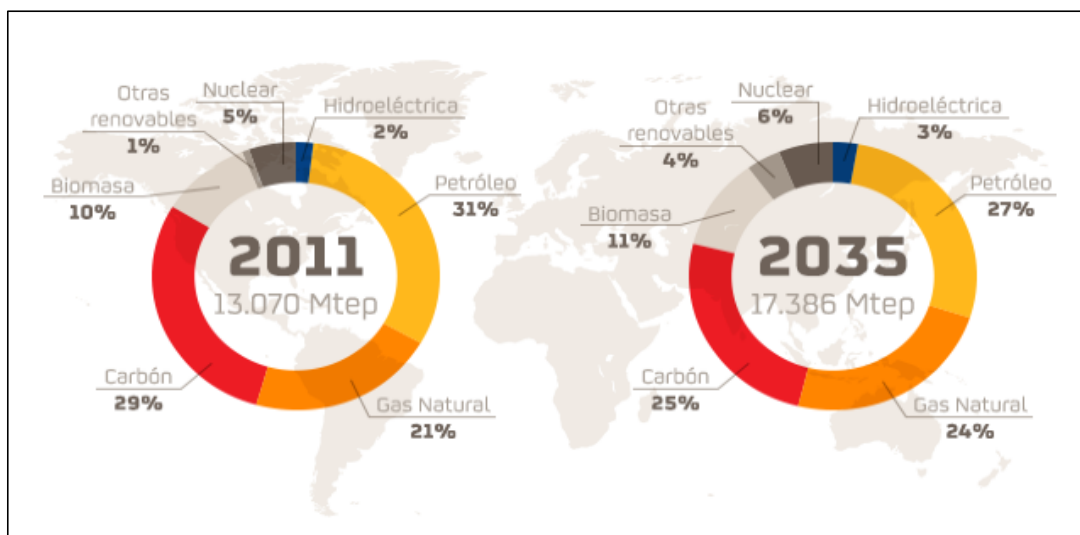


Figura 1.2: Perspectiva de crecimiento de la demanda mundial de energía primaria.

Fuente: Agencia Internacional de Energía, “Matriz Energética Mundial,” *World Energy Outlook* 2011, 2012. [Online]. Available: http://www.repsol.com/es_es/corporacion/conocer-repsol/contexto-energetico/matriz-energetica-mundial/

1.2 Fuentes renovables de energía.

En la actualidad los problemas ambientales a los que afrontamos causados por el uso masivo de energías fósiles tales como el petróleo, gas natural, carbón, entre otros. Por esta razón se plantea la búsqueda de nuevas alternativas de energías confiables y limpias, favorablemente la naturaleza nos ofrece una gran diversidad de opciones como la energía solar, eólica, biomasa, geotérmica y muchas otras.

La energía renovable se deriva de los procesos naturales que se reponen constantemente, son además fuentes de abastecimiento energético confortables hacia el medio ambiente [8]. Estas energías se clasifican en convencionales y no convencionales, se denominan energías convencionales todas las energías que son de uso frecuente en nuestro caso la fuerza del agua, para producir energía eléctrica, la más difundida es la energía hidráulica a gran escala, mientras que las no convencionales poseen una gran potencia de desarrollo.

1.2.1 Energías renovables convencionales.

Se llama energía convencional a las energías que son de uso habitual en el mundo o que son las fuentes más abundantes para producir energía eléctrica. En nuestro país la

principal fuente es el agua, siendo esta aprovechada con la generación de energía hidráulica, la cual se basa en aprovechar el ciclo natural del agua, obteniendo provecho de las diferentes alturas de las corrientes de agua pasando por las turbinas a gran velocidad, induciendo un movimiento de rotación que se transforma en energía eléctrica. En la figura 1.3 [8] se representa de forma esquemática a una central hidroeléctrica.

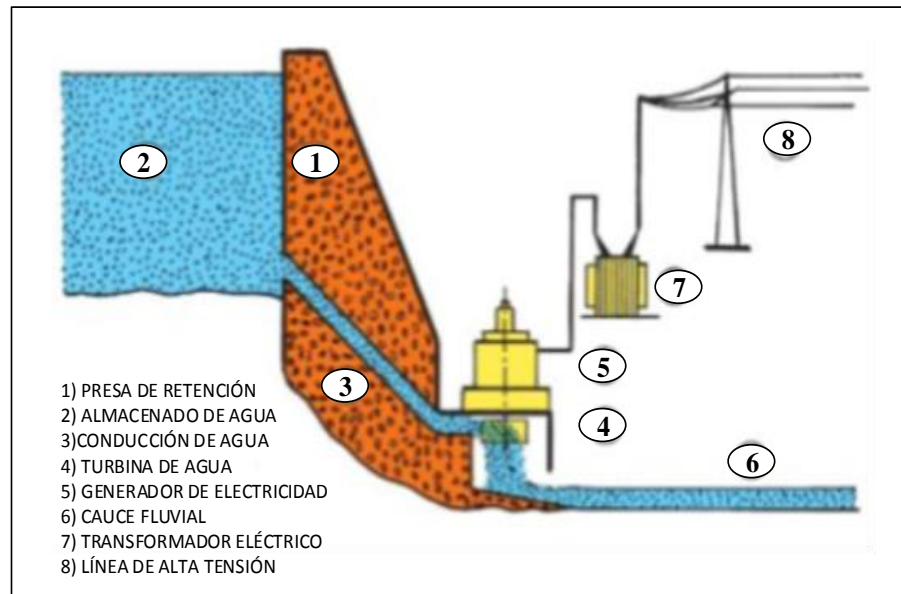


Figura 1.3: Esquema de una central hidroeléctrica.

Fuente: José Roldán Viloria, *Energías Renovables*, Primera ed. España, 2013, p. 18,156.

Las clasificaciones que pueden hacerse de las centrales hidroeléctricas, normalmente en función de su potencia instalada y de las características del terreno en la que se sitúa la central, lo que condiciona en gran parte su diseño.

Según su potencia tenemos tres grupos de centrales hidroeléctricas [9]:

- Centrales de gran potencia con más de 50 MW.
- Centrales con potencia entre 10 MW y 50 MW.
- Centrales con potencia igual o inferior a 10 MW.

Las centrales menores de 10 MW son conocidas como mini centrales hidráulicas, entre estas se halla un subgrupo, que son las centrales con generación menor de 100 kW llamadas micro centrales.

Dependiendo las características del terreno podemos tener la siguiente clasificación:

- **Central de agua fluyente:** O también llamadas de pasada, aprovechan el cauce de natural de un río, no existiendo acumulación apreciable de agua, es preciso que el caudal del río sea lo suficientemente constante para asegurar una potencia determinada [10].
- **Central con embalse:** se constituye mediante la edificación de una o más presas que crean lagos artificiales adonde se acumula un volumen considerable de agua, este embalse permite regular la cuantía de agua a las turbinas [11].
- **Centrales de bombeo:** estas centrales sitúan dos embalses a diferente altura, uno en la parte superior y otro en la parte inferior ubicado luego del cuarto de máquinas, para ello el agua que permanece acumulada en el embalse inferior de manera que durante las períodos del día donde la demanda de energía es mínima el agua es bombeada al embalse superior para que pueda repetirse el ciclo productivo [12].

1.2.2 Energías renovables no convencionales.

La energía renovable no convencional, es aquella forma de generar energía de manera poco habitual en el mundo y cuyo uso está aún limitado y no desarrollado tecnológicamente en su totalidad, debido a sus altos costos de inversión [13].

“Estas fuentes están siendo consecutivamente producidas por la naturaleza y no son extingüibles, como ejemplo se tiene la madera, la energía geotérmica, la energía del viento, la energía de las mareas, la biomas, etc.”¹.

1.2.2.1 Recursos renovables no convencionales en el Ecuador.

El Ecuador es sin lugar a duda un país privilegiado por la gran cantidad de recursos naturales que dispone, conforme a las estadísticas del sector eléctrico ecuatoriano para el año 2011. En la tabla 1.1 se muestra en porcentajes como se divide la disposición de energías renovables en el país.

¹ Fuente: E. Harper, Tecnología de generación de energía eléctrica. México, 2011, pp. 51

Tabla 1.1: Disposición de Energías renovables en el Ecuador.

Hidráulica	46%
Biomasa	1,97%
Eólica	0,03%
Solar Fotovoltaica	0,002%

Existen muchos proyectos de energías renovables que se encuentran desarrollando entre los más importantes proyectos se hallan: Central Eólica Villonaco con 16.5MW que se encuentra generando a partir del primer semestre del 2013, el proyecto Eólico Baltra con 2,25MW. A finales del año 2012 diversas empresas privadas presentaron al CONELEC la solicitud para la ejecución de proyectos de sistemas de generación fotovoltaica [14].

Se puede observar en la figura 1.4 la producción anual de energía eléctrica a nivel nacional por tipo de fuente energética desde el año 1999 hasta el año 2014 [15], en el cual las energías renovables no convencionales empiezan desde el año 2004 con la producción de energía a partir de la Biomasa, utilizando el bagaso de caña utilizado por las centrales de las empresas azucareras, en el caso de la energía eólica empieza en el año 2007 y la energía solar en el año 2012 ya con un porcentaje relativamente alto .

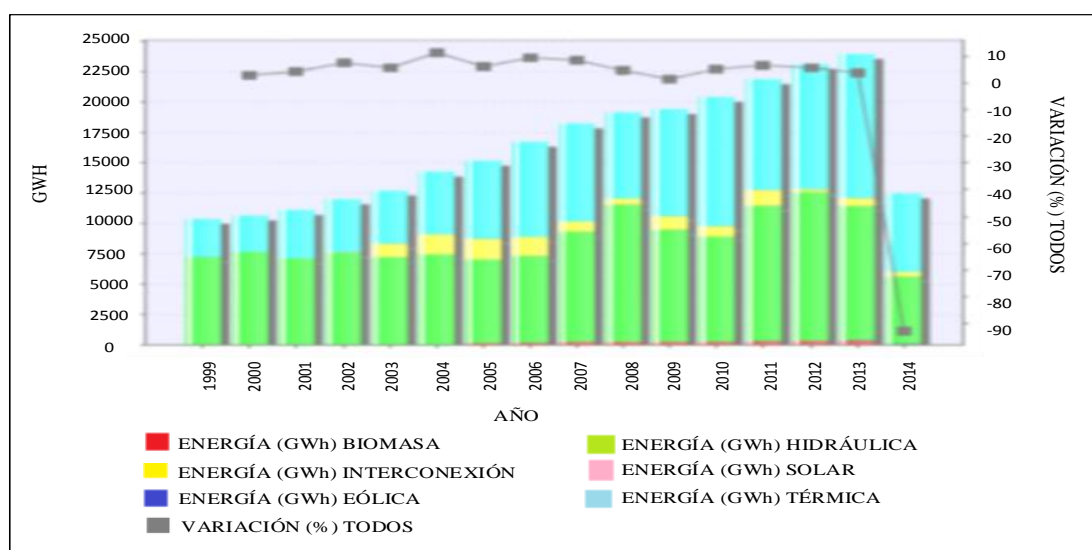


Figura 1.4: Producción anual de energía eléctrica a nivel nacional por tipo de fuente energética.

Fuente: CONELEC, "Producción Anual," 2014. [Online]. Available: http://www.conelec.gob.ec/enlaces_externos.php?l=1&cd_menu=4223.

1.3 Situación fotovoltaica en el Ecuador.

En el Ecuador el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable como entidad de formulación de la política nacional del sector eléctrico, promueve la apropiada gestión de proyectos de electrificación con energías renovables no convencional, para ello se halla trabajando con diferentes representantes del sector eléctrico, con la conclusión de establecer una estrategia que permita el fortalecimiento de nuevos proyectos.

De acuerdo con el artículo 63 de la Ley del Régimen del Sector Eléctrico establece que *“El estado fomentará el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales a través de los órganos públicos, la banca de desarrollo, las universidades y las instituciones privadas.”*².

Es de primordial importancia para el Estado el realizar elementos que promuevan y avalen el avance en las tecnologías renovables no convencionales, teniendo en consideración que el mayor impedimento es el costo inicial de inversión, el cual se remedia con los bajos costos de producción [16].

El Ecuador es una región con diversa topografía, de gran variedad climática y ambientes únicos que le conceden un excelente potencial en energías renovables. La utilización práctica de la energía solar para generar electricidad tiene como objetivos principales: la reducción de emisión de CO₂, la disminución de combustibles fósiles empleados en la generación de energía eléctrica y la posibilidad de llegar a zonas rurales apartadas de las redes de distribución.

1.3.1 Cuantificación del recurso solar.

En vista de la necesidad de contar con un documento técnico que cumpla con los exigencias técnicas a fin de promover el uso masivo de la energía solar, en agosto del 2008 el CONELEC publicó el “Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica”, este documento contiene la cuantificación del potencial solar aprovechable y con posibilidad de generación, en base a mapas de radiación directa, global, difusa y

² Fuente: Consejo Nacional de Electricidad, “Regulación No. CONELEC 004/11,” pp. 1, 2012.

sus correspondientes isohelias (Curva, dibujada sobre un mapa, que representa la insolación en un periodo de tiempo determinado [17]), con el fin de ubicar proyectos locales.

El Atlas Solar contiene mapas del Ecuador divididos de la siguiente manera:

- Doce mapas con los valores medidos de insolación difusa.
- Doce mapas con los valores medidos de insolación directa.
- Doce mapas con los valores medidos de insolación global.
- Tres mapas con los valores promedio de insolación difusa, directa y global.

El Ecuador al estar ubicado sobre la línea ecuatorial posee un potencial solar en niveles muy significativos, estos antecedentes muestran una uniformidad de los valores en todo el año [18].

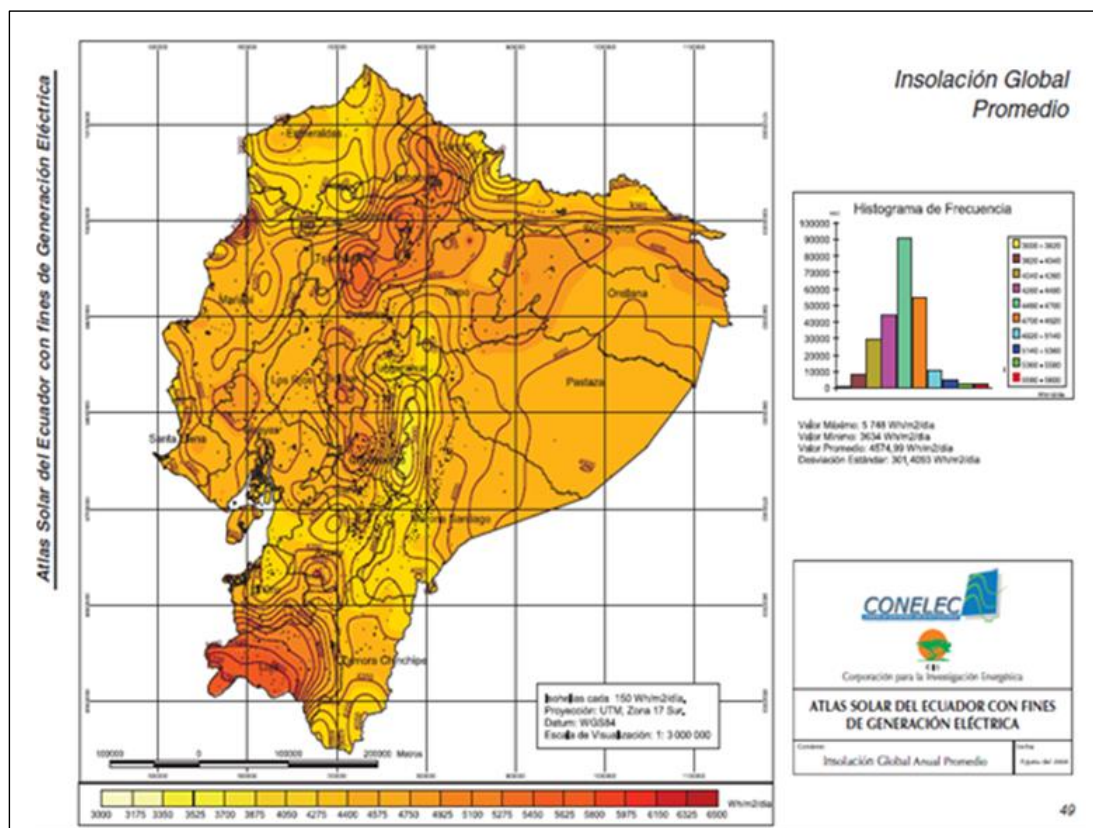


Figura 1.5: Insolación Global Promedio.

Fuente: Corporación para la Investigación Energética, “Atlas solar del ecuador,” CONELEC, pp. 1–51, 2008.

La información proporcionada, pertenece al periodo entre el 1 de enero de 1985 y el 31 de diciembre de 1991, estos valores constituyen la energía solar promedio mensual y anual de los valores diarios, la insolación total e insolación global sobre una superficie horizontal y contiene los promedios mensuales de cada una de ellas [19].

En la figura 1.5 [19] se observa el mapa que contiene la insolación global promedio en el Ecuador.

1.3.2 Proyectos fotovoltaicos en el Ecuador.

En el país existen zonas que no tienen redes de energía eléctrica, esto se debe a razones de carácter económico, técnico, de impacto ambiental y sobre todo el respeto a la cultura de las etnias locales como las ubicadas en diferentes provincias especialmente en la amazonia.

El proyecto EURO-SOLAR nace de un convenio regional suscrito en diciembre del 2006 entre la comunidad Europea y ocho países de Latinoamérica, tiene por objeto aportar a mejorar las condiciones de vida de la población en aspectos de salud, educación y telecomunicaciones de 91 comunidades rurales distribuidas en siete provincias del Ecuador que son: Guayas, Esmeraldas, Sucumbíos, Orellana, Napo, Pastaza y Morona Santiago.

Este proyecto proveerá de una torre que soportara a un grupo de siete paneles fotovoltaicos con una capacidad de 1100 vatios pico y equipamiento para acceso a las telecomunicaciones, como parte del programa se entrega a la comunidad cinco computadoras, un proyector, una impresora multifunción, un refrigeradora para mediciones, un purificador de agua y todos los elementos para dotar de iluminación [20].



Figura 1.6: Infocentro Eurosolar, Paneles Solares, baterías y antena.
Fuente: E. S. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, "Programa EURO-SOLAR," pp. 1–23, 2009.

A manera de promover el uso de energía solar para el calentamiento de agua, se plantea el dotar de 10.905 sistemas solares térmicos a familias de diversas comunidades de las provincias de Azuay, Bolívar, Cañar, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Pichincha, Santo Domingo y Loja [21].

Este proyecto consta con la injerencia directa del Estado, para lo cual el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) pactó un convenio con el MIDUVI para que las familias que accedan al bono de la vivienda estén favorecidas con este programa [21].

El CONELEC separa a los proyectos de generación de energías renovables no convencionales sujetos a la regulación No. CONELEC 004/11 en dos grupos. En el anexo A tenemos el primer grupo que conlleva a proyectos con una capacidad mayor a 1 MW, en el anexo B encontramos el segundo grupo que contiene el registro de generadores menores a una capacidad de 1 MW, en estos anexos se indica la empresa gestora, el proyecto, tipo de proyecto, capacidad de MW, la ubicación y ciudad [22].

1.4 Normativa del sector eléctrico para sistemas fotovoltaicos.

El Ecuador es un país con una excelente ubicación que permite aprovechar el recurso solar mediante procedimientos establecidos en esta fuente inagotable de energía. Por ello el país ha implementado cuantiosos sistemas fotovoltaicos, debido a la falta de un diseño adecuado, varias de estas instalaciones fueron elaboradas con normativas establecidas en otros países. Por ello en el país las entidades de regulación han creado formas de regulación para fomentar el desarrollo de energías renovables no convencionales.

El Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) a través de su directorio establece que el Estado promoverá el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales, con el fin de reducir la dependencia de generación eléctrica a base de los combustibles fósiles. Resuelve con la regulación No. CONELEC – 004/11 denominada “*Tratamiento para la Energía Producida con Recursos Energéticos No Convencionales*”³, con el objeto de establecer los requisitos, precios, su periodo de vigencia y forma de despacho para la energía eléctrica entregada al Sistema Nacional Interconectado (SNI) y sistemas aislados, por los generadores que emplean fuentes renovables no convencionales [16].

Esta regulación comprende las siguientes energías renovables no convencionales:

- Eólica.
- Biogás.
- Biomasa.
- Fotovoltaica.
- Geotérmica.
- Centrales hidroeléctricas de hasta 50 MW.

Con el fin de determinar un procedimiento para los proyectos de generación de energías renovables el directorio del Consejo Nacional de Electricidad resolvió con la

³ Fuente: Consejo Nacional de Electricidad, “Regulación No. CONELEC 004/11,” pp. 2, 2012.

regulación No. CONELEC – 002/13 denominada “*Procedimiento de Calificación y Registro de los Proyectos de Generación de Energías Renovables No Convencionales menores a 1 MW*”⁴, establecer un procedimiento que deben cumplir los proyectos de energías renovables menores a 1 MW, para conseguir el registro ante el CONELEC así como su procedimiento en los aspectos comerciales, técnicos y de control [23].

A pesar de estas regulaciones en el país no existe una normativa ni ley para el diseño, instalación, mantenimiento y protecciones de un sistema fotovoltaico, por lo cual las empresas encargadas de diseñar, instalar y realizar mantenimiento utilizan normas de otros países.

1.4.1 Esquemas regulatorios a nivel internacional.

1.4.1.1 California.

El estado de California en Estados Unidos ha sido el líder en el desarrollo de recursos energéticos renovables, principalmente en energía fotovoltaica, con la finalidad de reducir los costos de energía, reducir la dependencia de los generadores de energía eléctrica con combustibles fósiles y crear un futuro sustentable [24]. Para ello existen los siguientes programas:

1.4.1.1.1 Iniciativa solar de California.

Esta política ha sido creada con el fin de obtener objetivos de energía limpia y así poder ayudar a reducir los costos de la energía solar fotovoltaica, tiene la tarea de implementar 3000 MW en proyectos fotovoltaicos hasta el año 2017.

En la tabla 1.2 se indica el presupuesto para la Iniciativa de California [25].

⁴ Fuente: Consejo Nacional de Electricidad, “Regulación No. CONELEC 002/13,” pp. 1, 2013.

Tabla 1.2: Presupuesto Iniciativa Solar California.

Programa Categoría	Presupuesto (\$ Millones)
Programa General de Mercado Subtotal	\$ 1,897
Los incentivos directos a los consumidores por tecnologías fotovoltaicas y no-PV	\$ 1.707
Administración del Programa de Marketing y Promoción, Evaluación (10%)	\$ 190
Programas de bajos ingresos (10%)	\$ 217
Investigación, Desarrollo, Implementación y Demostración (RD & D)	\$ 50
Programa San Diego Calentamiento Solar de Agua Piloto	\$ 2.6
Iniciativa Solar de California Presupuesto total	\$ 2.167

Fuente: G. S. California, "Historia de Go Solar California," Comisión de Energía de California. [Online]. Available: <http://www.gosolarcalifornia.ca.gov/about/gosolar/history.php>.

La Iniciativa Solar brinda incentivos financieros para sus usuarios, ya sea todo en una vez para sistemas pequeños o en el transcurso de cinco años para los sistemas más grandes, estos pagos son de dos tipos [26]:

- Rendimiento deseado, basado en la reducción de interés, aplicable para proyectos menores a 50 MW, los incentivos serán concebidos una sola vez correspondiente al pago por adelantado sobre la base de los resultados esperados.
- Incentivos basados en el desempeño, aplicable para proyectos iguales o mayores a 50 MW, el estímulo consta en el pago mensual por toda la potencia salida durante los primeros cinco años de operación.

1.4.1.1.2 Nueva asociación de casas solares.

Una casa solar es una casa de alta eficiencia energética que emplea módulos fotovoltaicos para generar energía eléctrica. Por esta razón la iniciativa va dirigida para viviendas de sectores unifamiliares y multifamiliares, para conseguir 400 MW en las nuevas viviendas e incorporar a los nuevos hogares altos niveles de eficiencia energética y beneficio de los sistemas solares [27].

Los estímulos en este programan están orientados por el tipo de residencia y el desempeño, para poder favorecerse de los estímulos el domicilio debe lograr al menos el 15% más alto de la eficiencia energética que la actual. Estos incentivos son remunerados una vez que el sistema ya se encuentra instalado, funcionando y que cumplan con todos las obligaciones de equipos y de instalación [28].

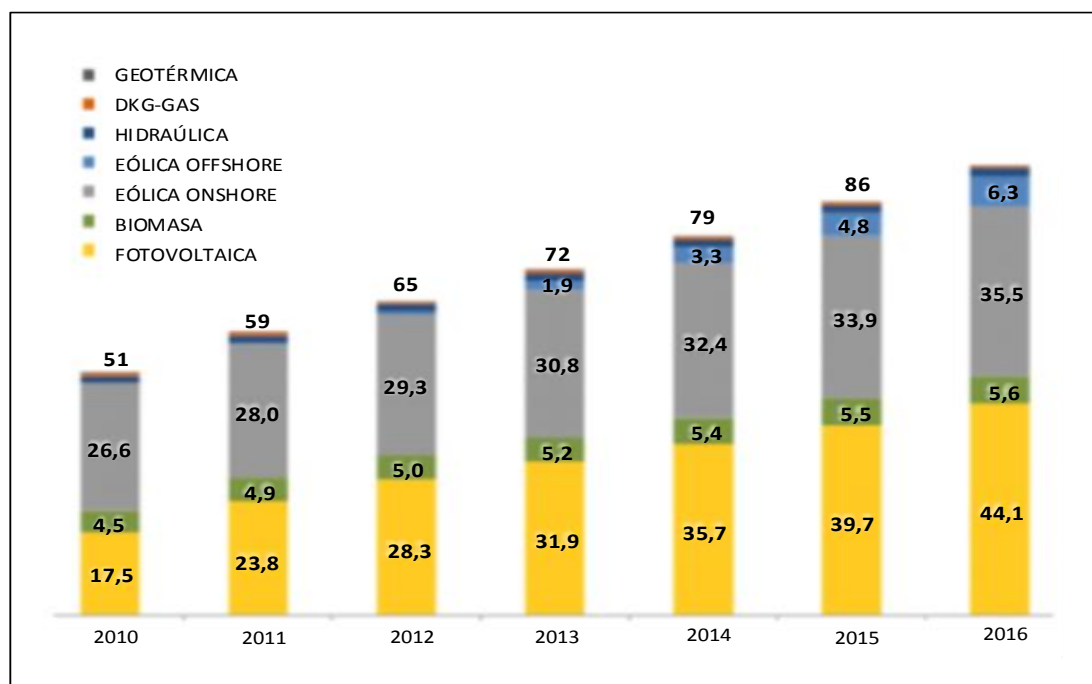


Figura 1.7: Proyección de la potencia instalada en energías renovables.
Fuente: I. C. Díaz, “El Mercado de la Energía Solar Fotovoltaica en Alemania,” *Of. Económica y Comer. la Embajada España en Berlín*, pp. 6–19–20–33, 2012.

1.4.1.2 Alemania.

Alemania es uno de los países pioneros en la utilización de energías renovables y primordialmente en la generación fotovoltaica, para ello el principal instrumento de regulación del mercado fotovoltaico es la Ley de Energías Renovables “Erneuerbare-Energien-Gesetz-EEG”. El objetivo de esta ley es permitir un desarrollo sostenible del suministro energético, sobre todo en beneficio de la protección del clima y del medio ambiente. Esta normativa se ha planteado en ampliar la proporción de las energías renovables en el suministro energético nacional en un mínimo de 30% para el año 2020 y de un 50% para el año 2030. En la figura 1.7 podemos observar la proyección de potencia instalada en energías renovables desde el año 2010 hasta el 2016, notando que los sistemas fotovoltaicos son los de mayor crecimiento [28].

Alemania no cuenta con un programa de estímulo monetario para los usuarios que desean ingresar a la generación fotovoltaica, solo es remunerada la energía que es inyectada a la red por parte del generador, estos usuarios que reciben una remuneración están obligados a ceder a toda la electricidad generada en su central.

El pago de por la electricidad inyectada, se paga en función a la potencia de cada central, estas retribuciones monetarias estarán sujetas a un reajuste a la retribución por potencia con el paso del tiempo desde la puesta en servicio de la central [28].

En la tabla 1.3. se indica las tarifas fotovoltaicas en Alemania desde el año 2012 hasta el 2016, siendo válidas para los sistemas en tejado y para los sistemas en suelo [29]

Tabla 1.3: Tarifas Fotovoltáicas en Alemania.

Instalaciones en Tejados					
Entrada en Vigor	Nuevo: hasta 10kW	Hasta 100kW (se suprime)	Hasta 1000 kW	A partir de 1000kW Hasta 10MW	Sobre Suelo Hasta 10 MW
A partir 01.01.2012	24,43	23,23	21,98	18,33	17,94
A partir 09.03.2012	19,5	16,5		13,5	13,5
Supone una reduccion de	20,20%	29,00%	24,90%	26,40%	24,70%
Degresión mensual en Cent.	0,15				
A partir 01.05.2012	19,35	16,35		13,35	13,35
A partir 01.06.2012	19,2	16,2		13,2	13,2
A partir 01.07.2012	19,05	16,05		13,05	13,05
A partir 01.08.2012	18,9	15,9		12,9	12,9
A partir 01.09.2012	18,75	15,75		12,75	12,75
A partir 01.10.2012	18,6	15,6		12,6	12,6
A partir 01.11.2012	18,45	15,45		12,45	12,45
A partir 01.12.2012	18,3	15,3		12,3	12,3
A partir 01.01.2013	18,25	15,15		12,15	12,15
Hasta 01.12 supone reducción de	25,70%	31,10%		33,70%	32,30%
A partir 01.01.2014	16,35	13,35		10,35	10,35
Hasta 01.13 supone reducción de	9,90%	11,90%		14,80%	14,80%
A partir 01.01.2015	14,55	11,55		8,55	8,55
Hasta 01.14 supone reducción de	11,00%	13,50%		17,40%	17,40%
A partir 01.01.2016	12,75	9,75		6,75	6,75
Hasta 01.15 supone reducción de	12,40%	15,60%		21,10%	21,10%

Fuente: I. C. Díaz, "El Mercado de la Energía Solar Fotovoltaica en Alemania," Of. Económica y Comer. la Embajada España en Berlín, pp. 6–19–20–33, 2012.

1.4.1.2.1 Certificaciones.

En Alemania son importantes pero no obligatorias las certificaciones de calidad de los equipos fotovoltaicos para sus instalaciones, los cuales son otorgados en los laboratorios de ensayos registrados en la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), algunas de estas certificaciones son las siguientes [29]:

- IEC 61215:2005 para módulos fotovoltaicos cristalinos.
- IEC 61646:1996 para los módulos de capa fina.
- IEC 61730-1:2004 para calificación de seguridad de módulos fotovoltaicos. Parte 1 (construcción).
- IEC 61730-2:2004 para calificación de seguridad de módulos fotovoltaicos. Parte 2 (ensayos).
- IEC 62124:2004 sistemas fotovoltaicos autónomos.

1.4.1.3 Italia.

En Italia se promueve la generación mediante fuentes de energía renovable, entre las cuales la energía solar se ha convertido en un negocio para inversores y productores. Estas oportunidades se basan en un sistema de primas a la producción, liberaciones fiscales, facilidades para el financiamiento para la implementación de sistemas fotovoltaicos y otros beneficios.

El programa que permite estas oportunidades se le conoce como el “Conto Energía”, este mecanismo entro en funcionamiento desde el 2005 y estudia la determinación de las tarifas correspondientes a los titulares de instalaciones fotovoltaicas por la compra de electricidad producida por estos medios, el propósito es la propagación de las tecnologías fotovoltaicas aumentando la demanda de los dispositivos [30].

1.4.1.3.1 Incentivos fotovoltaicos.

Los incentivos prevén el pago de la energía eléctrica producida con tarifas capaces

de apoyar la inversión financiera necesaria para la implementación y operatividad de sistema fotovoltaico. En la tabla 1.4 se encuentran los tipos de incentivos establecidos por el cuarto Conto Energía para el año 2012 para instalaciones fotovoltaicas en edificios y otros plantas [30].

Tabla 1.4: Tipos de Incentivos cuarto Conto Energía.

Intervalos de Potencia	Primer Semestre 2012		Primer Semestre 2013	
	Instalaciones en edificios	Otras plantas fotovoltaicas	Instalaciones en edificios	Otras plantas fotovoltaicas
(kW)	(€/kWh)	(€/kWh)	(€/kWh)	(€/kWh)
$1 \leq P \leq 3$	0.274	0.240	0.252	0.221
$3 < P \leq 20$	0.247	0.219	0.227	0.202
$20 < P \leq 200$	0.233	0.206	0.214	0.189
$200 < P \leq 1000$	0.224	0.172	0.202	0.155
$1000 < P \leq 5000$	0.182	0.156	0.164	0.140
$P > 5000$	0.171	0.148	0.154	0.133

Fuente: TETAPROJECT, “El Conto Energía Italiana,” 2012. [Online]. Available: <http://www.tetaproject.com/es/fotovoltaico/conto-energia.html>.

Se paga la tarifa establecida durante los 20 años sucesivos a la entrada en funcionamiento de la instalación. A partir del 2013 entro en vigencia la quinta etapa del Conto Energía que revisara el sistema de incentivos mediante la introducción de dos tipos de tarifas [30]:

- Remunera el autoconsumo y venta de excedentes a la red.
- Autoconsumo, para los sistemas que no prevén verter excedentes de energía en la red eléctrica.

CAPÍTULO II

GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

En el capítulo II del presente proyecto se describe a la generación fotovoltaica que basa su funcionamiento en la utilización de semiconductores para convertir la luz solar en energía eléctrica, la importancia de las ventajas y desventajas al utilizar sistemas fotovoltaicos. Refiriéndose a las formas de generación fotovoltaica que se pueden implementar, en este caso hablamos de la utilización de celdas solares o fotovoltaicas, que son pilar fundamental en los elementos que son utilizados para la generación fotovoltaica. Dependiendo de los equipos, la necesidad de los consumidores se deberá escoger el tipo de sistema fotovoltaico más idóneo para ser implementado, estos van a la par con la generación distribuida que la empresa distribuidora vaya implementando o de la necesidad de no tener una red de distribución cerca y que dificulta que los usuarios de zonas aisladas tengan una red de distribución eléctrica. Como una mejora a estos sistemas las micro redes eléctricas son una gran alternativa por sus grandes beneficios para los consumidores y para el medio ambiente ya que facilitan la incorporación de energías renovables.

2.1 Energía fotovoltaica.

El sol constituye una parte primordial en el desarrollo en nuestras vidas, ya que es utilizado en varias índoles como la agricultura o en la distribución de trabajos a lo largo del día, por esta razón a lo largo de la historia se ha obtenido beneficio del sol y en los últimos años la energía solar fotovoltaica es una clara muestra de su utilización.

La energía fotovoltaica es una tecnología fundamentada en semiconductores (Foto = luz, voltaico = voltaje) que convierte energía procedente de la luz solar directamente en corriente eléctrica, que ya puede ser empleada ya sea de forma inmediata o acumulada en una batería. Los elementos que son empleados para la transformación de energía de la luz solar en electricidad por efecto fotovoltaico, son llamados celdas fotovoltaicas o celdas solares, las mismas que son un transductor que convierte la energía radiante del sol en electricidad y fundamentalmente es un diodo semiconductor capaz de desarrollar un voltaje y una densidad de corriente [13].

2.1.1 Ventajas.

Los sistemas fotovoltaicos con la implementación de la energía solar, son una de las energías renovables más utilizadas en el mundo y una de las mejores opciones para implementar energías renovables, por ello son más las ventajas que las desventajas de este tipo de sistemas, a continuación algunas de las ventajas [31] [32]:

- La energía solar es una fuente inagotable.
- Posee un irrisorio impacto ambiental.
- No genera residuos perjudiciales para el medio ambiente.
- No contamina acústicamente, las placas solares son silenciosas y de amplia vida útil (entre 20 y 30 años).
- Es un sistema de aprovechamiento de energía idóneo para zonas donde el tendido eléctrico no llega (zonas rurales, montañosas, islas), o es dificultoso y costoso su traslado.
- Un sistema de energía solar para generación eléctrica en el hogar consigue potencialmente eliminar hasta 18 toneladas de emisiones de gases de invernadero al ambiente cada año.

2.1.2 Desventajas.

Las desventajas son mucho menores que las ventajas pero de igual manera de una gran importancia y consideración para la implementación de un sistema fotovoltaico [33]:

- Inicialmente requiere una gran inversión económica a la que muchos no están dispuestos a arriesgarse.
- Puede afectar a los ecosistemas por la extensión que ocupan los paneles en las grandes instalaciones fotovoltaicas.
- En algunas zonas la luz solar no tiene la intensidad o no es suficientemente constante en el día para suministrar un flujo de energía permanente.

2.1.3 Formas de generación fotovoltaica.

Existen dos maneras de transformar la energía que contiene la luz solar en electricidad, la primera denominada “Generación térmica solar” y la segunda comprende el uso de celdas solares o fotovoltaicas, de cualquier forma que se utilice en una planta de generación de energía eléctrica solar tiene una debilidad, que solo se puede generar electricidad cuando el sol esta radiante, para escapar de esta dificultad una planta solar debe poseer cualquiera forma convencional de poder acumular la energía generada, para nuestra investigación nos vamos a fijar en la segunda forma de generación [4].

2.1.3.1 Celdas solares o fotovoltaicas.

Las celdas solares o también conocidas como fotovoltaicas utilizan una tecnología que a partir de semiconductores transforma la energía de la luz solar directamente en corriente eléctrica. Los dispositivos que se emplean son conocidos como celdas solares o celdas fotovoltaicas, las mismas que son un transductor que transforma la energía radiante del sol directamente en electricidad, son de materiales semiconductores constantemente de silicio, para las celdas solares se tienen una forma de obleas delgadas de semiconductor fundamentalmente tratadas para formar un campo eléctrico positivo de un lado y negativo del otro

La celda fotovoltaica genera corriente directa que puede ser convertida dependiendo la necesidad de su uso en corriente alterna con la ayuda de un inversor. La principal discrepancia entre el sistema fotovoltaico y otros tipos de energía solar es que se emplea el calor del sol, a las celdas se les realiza un mantenimiento muy escaso y poseen una larga vida útil, no posee partes en movimiento y sus componentes son de electrónica de estado sólido, por lo que es viable emplear sistemas fotovoltaicos en zonas remotas en donde los recursos son escasos [34].

2.1.4 Elemento de un sistema fotovoltaico.

A continuación describiremos los principales componentes de las instalaciones solares fotovoltaicas:

- **Módulos o paneles fotovoltaicos:** se fundamenta en la capacidad de captar las radiaciones solares y a partir de los semiconductores generar electricidad por efecto de los fotones, que al incidir sobre las células fotovoltaicas liberan los electrones del material semiconductor, produciendo una corriente eléctrica continua [32].
- **Regulador de carga:** su labor es de regular el paso de la electricidad a partir de los módulos hacia los lugares de consumo o la batería, garantizando una larga vida útil para la misma, teniendo en consideración que las baterías o acumuladores se encuentran sometidos a ciclos de carga y descarga constantes, si la regulación no es adecuada sufren mucho más y por ende disminuye su vida útil y calidad de operación. El regulador controla la corriente, el voltaje, indica el proceso de carga de las baterías, carga total de las baterías y tener la protección contra carga excesiva, asimismo posee sensores de temperatura para que la carga se desarrolle correctamente [35].
- **Baterías especiales:** la función fundamental de una batería es almacenar la energía generada por los módulos para asegurar el suministro de energía cuando la luz solar es escasa, además las baterías definen la tensión de trabajo de la instalación fotovoltaica [36].
- **Inversor:** también se lo llama convertidor, encargado de transformar la corriente continua producida por el paneles fotovoltaicos en corriente alterna, la que permite alimentar algunas cargas o para ser introducida en la red de distribución eléctrica [32].
- **Consumos corriente directa (CC):** son dispositivos y equipos que necesitan ser alimentados con corriente directa para su funcionamiento.
- **Consumos corriente alterna (CA):** son aparatos y equipos que son alimentados con corriente alterna para su funcionamiento.

En la figura 2.1 [37] podemos observar todos los elementos que constan en un sistema de generación fotovoltaica.

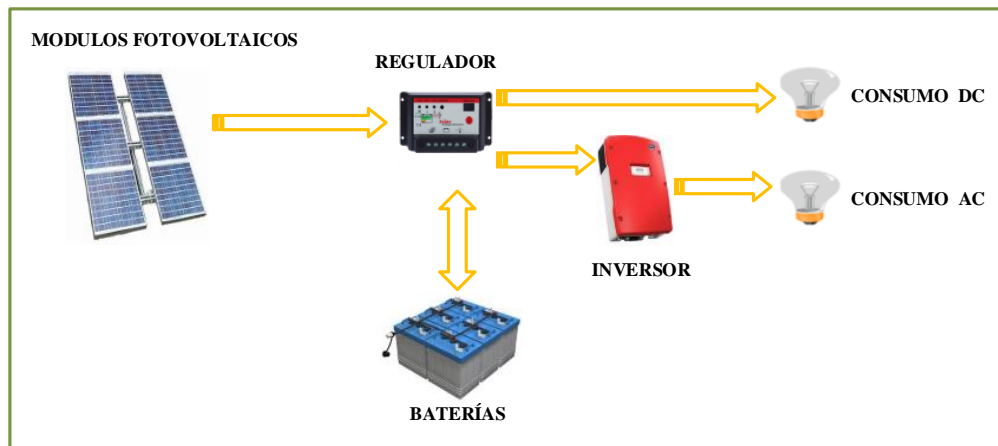


Figura 2.1: Elementos Fundamentales de una Instalación Fotovoltaica.
Fuente: Propia del Autor.

2.2 Tipos de sistemas fotovoltaicos.

Dentro de un sistema fotovoltaico tenemos un conjunto de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos que son utilizados para captar la energía solar útil y convertirla en energía eléctrica de manera que se la pueda utilizar.

En la figura 2.2 se podemos observar la clasificación de los sistemas fotovoltaicos, esto libremente de su potencia y su uso [32].

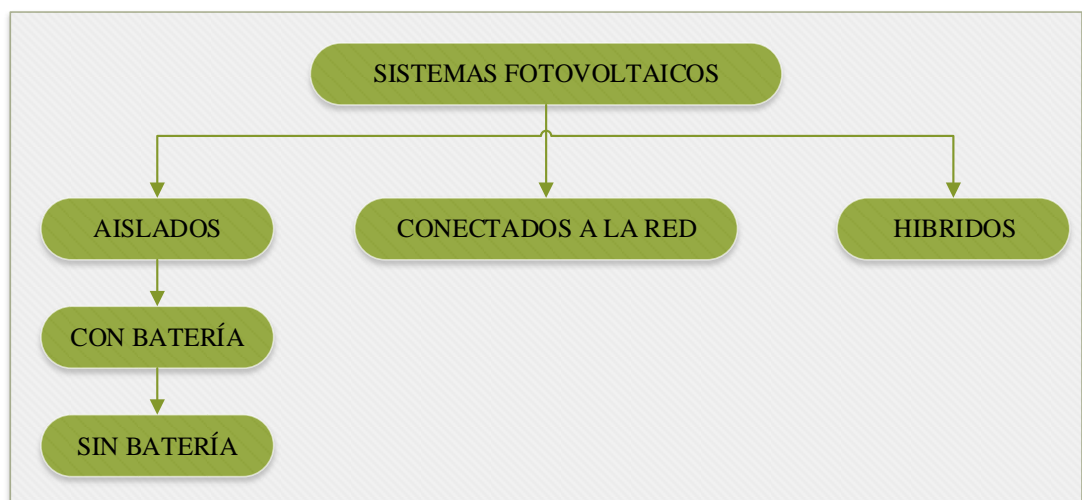


Figura 2.2: Clasificación de los sistemas fotovoltaicos.
Fuente: Propia del Autor.

2.2.1 Sistemas fotovoltaicos aislados.

Son sistemas fotovoltaicos que son implementados para suministrar a viviendas aisladas o receptores que no disponen de una conexión a la red de distribución de energía eléctrica, también se los conoce como sistemas autónomos, estos llegan hacer una excelente alternativa desde el punto de vista económico y técnico, entre otros sistemas de generación eléctrica, ya que el implementar una red de distribución eléctrica es ineludible tener una gran inversión económica [38].

La ejecución de este tipo de sistemas mejora la calidad de vida de muchas personas y lugares, ya que se emplean criterios de ahorro de energía y uso de energías renovables, por lo que pueden acceder al uso de luz artificial, abastecimiento de agua por bombeo, señalamiento en vías (semáforos, túneles, radares, etc.), y muchos beneficios más.

2.2.1.1 Componentes de un sistema fotovoltaico aislado.

La condición primordial para implementar una instalación aislada es la conservación de la energía producida, es decir, que de cualquier manera de captación de energía sea empleada ya sea de baterías o acumuladores debe avalar su disponibilidad para el consumo. Estos componentes fundamentales en una instalación fotovoltaica aislada son los siguientes [36]:

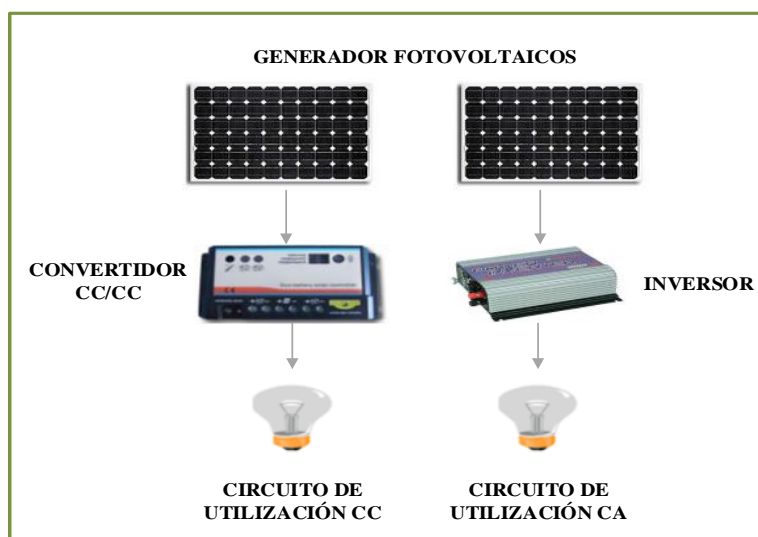
- Módulos fotovoltaicos.
- Las baterías o acumuladores de energía.
- Regulador de carga.
- Inversor
- Conductores de conexión

2.2.1.2 Clasificación de sistemas fotovoltaicos aislados.

Estos tipos de sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar en sistemas fotovoltaicos directos sin acumulación y sistemas fotovoltaicos con acumulación.

2.2.1.2.1 Sistemas fotovoltaicos aislados directos sin acumulación.

El generador fotovoltaico va conectado directamente al circuito de utilización y no dispone de sistemas de acumulación eléctrica, se la emplea en aplicaciones en donde la utilización de energía eléctrica se puede limitar a los períodos en los que existe radiación solar, por ejemplo sistemas de bombeo de agua. En algunos casos incorporan acoplamientos que acondiciona y controla la energía eléctrica, en el caso del acondicionamiento de la corriente para los dispositivos, equipos que requieren de corriente alterna o continua se utiliza convertidores o inversor, en la figura 2.3 observamos los componentes de sistemas fotovoltaicos aislados directos sin acumulación con convertidor de corriente continua y con inversor para corriente alterna [38].



*Figura 2.3: Sistemas fotovoltaicos aislados directos.
Fuente: Propia del Autor.*

2.2.1.2.2 Sistemas fotovoltaicos aislados con acumulación.

Son aquellos que son utilizados en aplicaciones cuando se requiere que el suministro de energía eléctrica se la pueda emplear en cualquier instante, sin importar la radiación solar existente, se halla formado con una batería de acumulación que acumula la energía eléctrica generada en el día. Estos sistemas son empleados en alumbrado público, repetidoras de telecomunicaciones, electrificación de viviendas, señalización de vías y en aplicaciones que no requieran de red de distribución de energía eléctrica,

dependiendo que tipo de corriente utilicen los dispositivos que se van a utilizar con este tipo de sistemas de generación fotovoltaica se puede utilizar convertidores o inversores. En la figura 2.4 observamos los componentes de sistemas fotovoltaicos aislados con acumulación incluyendo convertidor de corriente continua y con inversor [38].

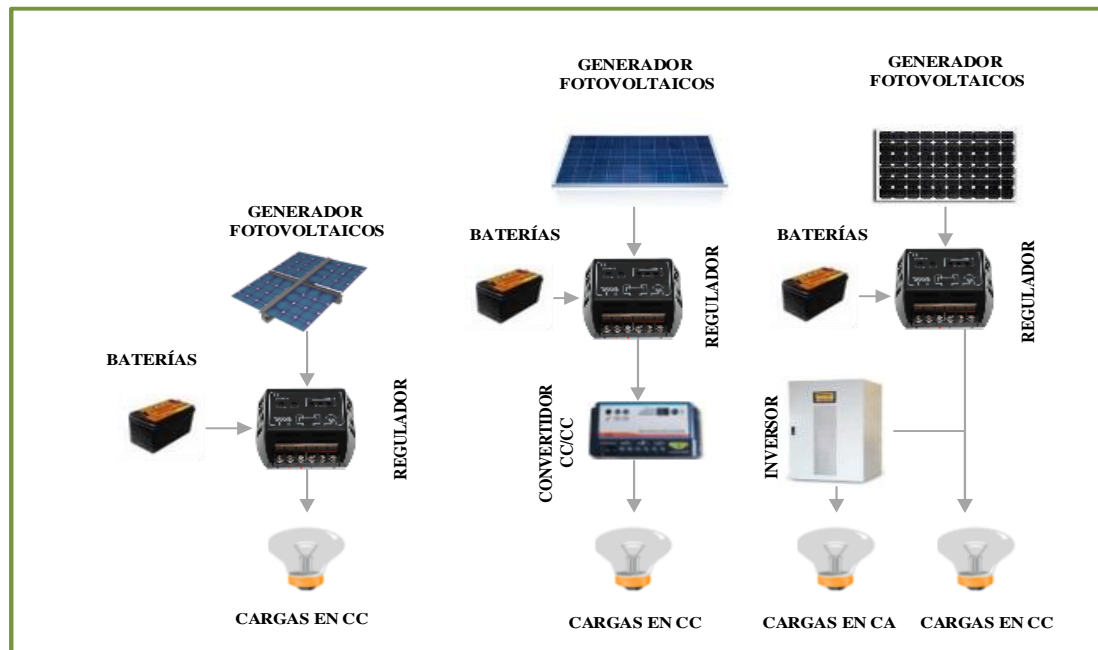


Figura 2.4: Sistemas fotovoltaicos aislados con acumulación.
Fuente: Propia del Autor.

2.2.2 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

Este sistema fotovoltaico conectado a la red está formado por un grupo de dispositivos encargados de efectuar la captación de la radiación solar, generando energía eléctrica en forma de corriente continua y conforme a las particularidades de los consumidores conectados a la red de distribución de corriente alterna, este tipo de instalaciones trabajan en paralelo con el resto de los sistemas de generación suministran a la red de distribución [39].

Cabe destacar que en estos sistemas no son utilizados sistemas de acumulación ya que la energía producida dentro de las horas de insolación es encauzada a la red eléctrica, asimismo cuentan con sistemas de seguimiento del estado de la tensión a la red de distribución, de forma que se garantiza el correcto funcionamiento [32].

2.2.2.1 Componentes de un sistema fotovoltaico conectado a la red.

Los componentes fundamentales para una instalación fotovoltaica conectada a la red son los siguientes [32]:

- Módulos Fotovoltaicos.
- Inversor para la conexión a la red.
- Elementos de protección del circuito.
- Contador de energía.

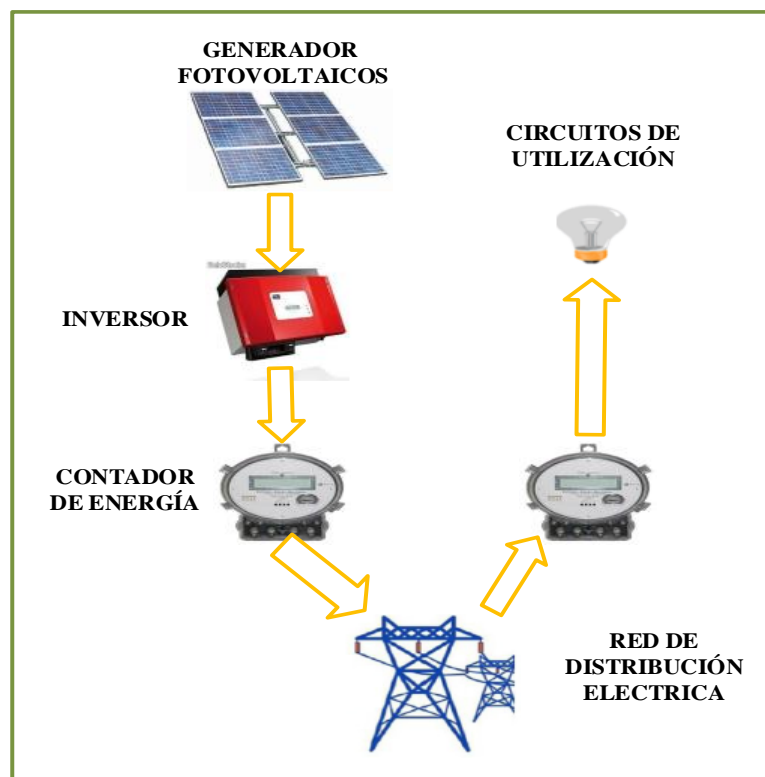


Figura 2.5: Sistemas fotovoltaicos para conexión a la red.
Fuente: Propia del Autor.

Cabe mencionar que los módulos que son utilizados en los sistemas fotovoltaicos conectados a la red son similares a los empleados en las instalaciones aisladas, se requiere de elementos de protección que protejan al sistema fotovoltaico y a la red eléctrica con el fin de interrumpir o reanudar el suministro cuando las circunstancias no sean propicias para un correcto funcionamiento tanto para el sistema fotovoltaico

como para la red distribuidora, también se emplea un contador para medir la energía consumida y la entregada, la cual sirve para tener una base para la facturación [40].

En la figura 2.5 [38] se muestra los elementos que constituyen un sistema fotovoltaico con conexión a la red.

2.2.3 Sistemas fotovoltaicos híbridos.

Estos sistemas emplean más de un medio para conseguir energía, las instalaciones fotovoltaicas comparten la acción de generar energía con otro tipo de generación o fuente de energía, la cual puede ser también de energía renovable o de tipo convencional, estas composiciones se dan para beneficiar algún recurso energético localizado cerca de la instalación o para poseer mayor fiabilidad en el suministro de energía [32][40] .

Cuando se utilizan este tipo de sistemas se emplean dos tipos de conexionado [40]:

- El primero que elige por un bloque generador o por otro, al ser reemplazado un bloque generador por el otro, el cambio se lo puede realizar de forma automática o manual.
- Otro sistema empleado es que las dos fuentes están conectadas en paralelo en todo momento, por lo que se necesita bloquear los pasos comunes entre ellas para impedir que la energía generada por una sea absorbida por la otra.

2.3 Generación distribuida.

La mayoría de sistemas en la actualidad se basan en la generación de energía eléctrica en grandes centrales, ubicadas remotamente de los puntos de consumo como residencias, hospitales, administraciones y muchas otras más, estos sistemas se identifican por ser un sistema de generación centralizado, unidireccional y con escasas medidas de control sobre la actuación de la demanda, por ende en los últimos años se ha ido desarrollando hacia un modelo de generación eléctrica distribuida, en el que la parte de la energía eléctrica se genera y consumirá en unidades descentralizadas, dispersas y cercanas a los centros de consumo. La generación distribuida muestra

formidables beneficios para el sistema eléctrico como la disminución de pérdidas en la red, el prescindir en gran medida el transporte, la reducción de inversiones en nuevas centrales, con este tipo de generación se reduce la demanda energética, debido a la implementación masiva de energías renovables, sino de forma eficiente, para que la energía llegue directamente a los consumidores [41].

2.3.1 Definiciones de generación distribuida.

No obstante que no existe una definición como tal, numerosos autores han tratado de exponer su concepto, por ello se describen las más sobresalientes [42]:

- Generación en pequeña escala instalada cerca del lugar de consumo.
- Producción de electricidad con instalaciones que son suficientemente pequeñas en relación con las grandes centrales de generación, de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico.
- Es la generación conectada directamente en las redes de distribución.
- Es la generación de energía eléctrica mediante instalaciones mucho más pequeñas que las centrales convencionales y situadas en las proximidades de las cargas.
- Es la producción de electricidad a través de instalaciones de potencia reducida, comúnmente por debajo de 1,000 kW.
- Son sistemas de generación eléctrica o de almacenamiento, que están situados dentro o cerca de los centros de carga.
- Es la producción de electricidad por generadores colocados, o bien en el sistema eléctrico de la empresa, en el sitio del cliente, o en lugares aislados fuera del alcance de la red de distribución.
- Es la generación de energía eléctrica a pequeña escala cercana a la carga, mediante el empleo de tecnologías eficientes, destacando la cogeneración, con la cual se maximiza el uso de los combustibles utilizados.

Podemos definir entonces a la generación distribuida como *“el uso en forma integrada o segregada de recursos de generación o de almacenamiento de energía eléctrica modular, lo más cercana al centro de carga, con la opción de interactuar*

(comprar o vender) con la red eléctrica y, en algunos casos, considerando la máxima eficiencia energética, por parte de empresas eléctricas o terceros que benefician con su uso al sistema eléctrico, a clientes finales específicos o a ambos”⁵ [43].

Teniendo en cuenta que el Ecuador es un país especialmente rico en recursos alternativos como el sol, viento, pequeñas vertientes y muchos más, se hace factible el desarrollo de este tipo de generación de energía eléctrica.

2.3.2 Ventajas de la generación distribuida.

La aplicación de la generación distribuida aporta con numerosos beneficios tanto en la implementación de tecnología, de forma económica, social para todos los usuarios, por lo cual podemos citar las siguientes [44][45]:

- La generación local disminuye las pérdidas de transmisión de energía.
- Se mejora la eficiencia global y utilización de la energía primaria, por consiguiente la defensa del medio ambiente.
- Se logra evitar congestionamiento en las redes de transmisión existentes.
- Se reducen los impactos de fallas en las redes de transmisión.
- Mejora la calidad y la fiabilidad del suministro de energía eléctrica.
- Son utilizadas en tareas militares y humanitarias ya que las grandes redes son asequibles a la destrucción ya sea por fenómenos climáticos y de otra índole.
- Disminuir los costos de la energía en producción y suministro, perfeccionando la concesión de recursos.
- Incrementa la seguridad energética al extender la gama de fuentes de energía en el sistema.
- Genera condiciones de empleo, por ejemplo en el caso del aprovechamiento de la biomasa en el sector rural.
- El monto y riesgo de las inversiones se reducen al poder tener una estrecha correspondencia entre la capacidad instalada y el crecimiento de la demanda.
- Su implementación se la realiza en tiempos reducidos, son flexibles y modulares.

⁵ Fuente: Johann Hernández Mora, “METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO DE LA MASIFICACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COMO OPCIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN REDES DE BAJA TENSIÓN,” Universidad Nacional de Colombia, 2012

2.3.3 Desventajas de la generación distribuida.

Los problemas en la generación distribuida son mucho menos que las ventajas, ya sean estos al implementarse o al entrar en funcionamiento en la red de distribución, entre ellos enumeramos los siguientes [43][45]:

- Impacto sobre la tensión del sistema, corriente de cortocircuito, activo y flujo de potencia reactivo y otras características.
- Perturban la estabilidad del sistema de potencia y de generación de energía, debido al ingreso de numerosos dispositivos de electrónica de potencia, condensadores, inductores lo que cambia la topología de la red.
- La indecisión en la planificación de la red al no poder predecir el crecimiento de la carga del sistema eléctrico.
- Falta de estándares para la conexión de pequeños generadores impide su desarrollo.
- Los elevados costos de instalación ya que se requiere una fuerte inversión inicial.

2.3.4 Clasificación generación distribuida.

La clasificación va en consideración del volumen de la instalación del sistema de generación distribuida, por lo que se plantea la siguiente clasificación en función de la potencia nominal [46]:

- Micro generación distribuida: 1W menor a 5 kW.
- Pequeña generación distribuida: 5kW menor a 5 MW.
- Mediana generación distribuida: 5MW menor a 50 MW.
- Gran generación distribuida: 50MW menor a 300 MW.

La calificación máxima que puede ser conectado a un sistema de generación distribuida depende de la capacidad del sistema de distribución, que se correlaciona con el nivel de tensión en el sistema de distribución, dependiendo de esto se puede optar por el sistema de generación distribuida q más convenga.

2.3.5 Aplicaciones de la generación distribuida.

Dependiendo de la cantidad de potencia a generarse los usos van a ir variando, las aplicaciones más comunes son las siguientes[44][47] :

- Son empleados como generación básica para proporcionar parte de la energía eléctrica necesaria y apoyar a la red eléctrica mediante el incremento del nivel de tensión del sistema eléctrico, de tal forma que se disminuyen las pérdidas de potencia y se mejora la calidad de la energía eléctrica del sistema.
- Este tipo de generación distribuida consigue proveer energía en horas pico, reduciendo el coste de la energía eléctrica demandada por los grandes clientes industriales.
- Se la puede utilizar como reserva para abastecer la energía eléctrica necesaria a las cargas variables, así como industrias de procesos y hospitales, durante las interrupciones de suministro de la red eléctrica.
- Se efectúa la generación distribuida en zonas para suministrar energía en lugares donde no existe la red de distribución, estas zonas poseen obstáculos económicos y técnicos por la distancia que las aleja de la red de distribución. De tal manera q este tipo de generación puede hacer frente a la demanda energética de estas instalaciones. Sus aplicaciones incluyen la comunicación, iluminación, calefacción, pequeños procesos industriales, muchas otras.

2.4 Microredes eléctricas.

Una microred es parte de la red inteligente la misma que forma parte de la red de distribución, consiguiendo el autoabastecerse y trabajar de manera autónoma, la misma que está conformada por un conjunto de cargas y generadores funcionando como un sistema único apto para suministrar potencia y calor, también se la puede definir como *“Una agregación de elementos eléctricos en baja tensión de generación, de almacenamiento y cargas (usuarios), los cuales se encuentran agrupados en una cierta área geográfica acotada, que puede operar conectada a la red o en forma aislada”*⁶ [48].

⁶ Fuente: O. N. Mata, D. O. Villalba, and R. Palma-Behnke, “Microredes en la Red Eléctrica del Futuro - Caso HUATACONDO.” IEEE, Latacunga-Ecuador, pp. 1–16, 2013.

El control y funcionamiento de varias de las fuentes que la componen se basan en la electrónica de potencia, por lo que ostentan la maleabilidad necesaria para garantizar el funcionamiento de todo el sistema como único, el control flexible admite a la microred demostrar al sistema eléctrico como una unidad controlable que aprovisiona las necesidades locales con seguridad y fiabilidad [49].

2.4.1 Ventajas de las microredes eléctricas.

Las microredes eléctricas tienen muchas ventajas, esto va a depender desde el punto de vista que sea analizado ya sea en la parte tecnología, ambiental o social, por ello a continuación describimos algunas de estas numerosas ventajas [48][49]:

- Se obtiene un mayor ahorro, mayor calidad de energía y una pequeña dependencia de la red de distribución eléctrica, concertando una interface a base de electrónica de potencia, por lo cual el control, comunicaciones y protecciones son auto suficientes en el sistema.
- Se pueden desempeñar tanto conectados a la red pública de distribución como aislados de la misma.
- Se encuentran ubicadas cerca de las fuentes de generación y son aprovechados los diversos sistemas de energía y calor que aumentan cuantiosamente la eficiencia energética del conjunto.
- Contribuyen a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y facilitan la introducción de energías renovables.
- Inclusive los usuarios que no gozan de las ventajas de las microredes de igual forma podrán favorecerse de estos sistemas, debido al incremento en el uso de éstas supondrá una disminución de costos de energía debido a la reajuste de la demanda pico en la red de distribución.

Las microredes poseen inconvenientes, especialmente al no poseer una normativa específica lo que dificulta e impide su generalización, así mismo al momento de su implementación se debe realizar una fuerte inversión.

2.4.2 Componentes microrredes eléctricas.

Una microrred se encuentra compuesta de los siguientes elementos [50]:

- Una red de distribución en baja tensión, en la que se conectan los recursos energéticos distribuidos.
- Una sucesión de fuentes de energía distribuidas para suministrar electricidad y calor a un conjunto de consumidores.
- Una infraestructura de comunicación local.
- Un sistema diferenciado de control y gestión.
- Sistemas de acumulación de energía.
- Controladores inteligentes para cargas y consumos.
- Un controlador central que gestiona la microrred, el cual provee las consignas a los controladores del resto de los equipos, como los sistemas de almacenamiento de energía, fuentes de generación, y cargas inteligentes.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA MICRO RED ELÉCTRICA

En el capítulo III del presente proyecto se muestra y se calcula el comportamiento de la radiación solar anual, mensual y diaria el cual puede afectarse dependiendo de varios factores como la latitud, nubosidad, humedad, claridad atmosférica, cabe mencionar que la radiación solar se compone de radiación directa, difusa y reflejada. Tomando en cuenta que para el diseño de una micro red eléctrica es necesario estimar el consumo de potencia, se cuantifico la potencia de iluminación de una institución educativa tipo, partiendo de ello se eligen y calculan los componentes del sistema fotovoltaico como paneles fotovoltaicos, inversor, arreglo de los mismos para cubrir con la potencia total requerida, conductores, protecciones. Diseñado el sistema fotovoltaico se estima el consumo de las cargas y compara con la generación del sistema, estableciendo cuando vende energía y cuando consume la energía generada por el sistema fotovoltaico.

3.1 Modelación del recurso solar.

El recurso solar en la tierra es aprovechado como fuente de energía útil, por lo que no contamina y es inagotable, dando interés a su explotación de forma indirecta o directa. Abordando la energía solar indirecta se muestra la transformación de esta en la atmosfera e hidrósfera, en precipitaciones, vientos, olas que pueden ser utilizados para la explotación en generación de energía eléctrica como en centrales hidráulicas que en el caso de nuestro país es la fuente de generación eléctrica más utilizada, en sistemas eólicos o centrales mareomotrices, otra forma de ser utilizada es en la agricultura. De manera directa el recurso solar de varias formas como en sistemas térmicos que a través de generar calor, utilizados por ejemplo en el calentamiento de agua o en centrales termo solares, otra manera es la utilización de paneles solares para la generación de electricidad [51].

3.1.1 Radiación solar.

Se refiere al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol, comprende desde las radiaciones infrarrojas hasta las ultravioletas, quedando en el centro, la luz visible para el ojo humano, hay factores que pueden afectar a la cantidad de radiación solar disponible en un lugar estos pueden ser [52]:

- Latitud: la posición al norte o al sur del ecuador.
- Nubosidad: durante un día nublado, la cantidad de radiación solar difusa puede ser una décima parte de lo que llegaría si fuera directa.
- Humedad: en el aire absorbe la radiación solar.
- Claridad atmosférica: nubes, smog, polvo, obstaculizan la llegada de la radiación solar.

La radiación solar que llega a la parte exterior de la atmósfera se mide por medio de una constante solar G_{sc} “es la energía del sol por unidad de tiempo recibido en una unidad de área de la superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación a distancia media Tierra-Sol fuera de la atmósfera”⁷. Su valor ha ido cambiando durante los años debido a mejores estudios y mejores tecnologías, el Centro Mundial de Radiación (CMR) ha adoptado un valor de 1.367 W/m^2 , con una incertidumbre del orden del 1%.

El comportamiento de la radiación en la parte exterior de la atmósfera es diferente en el tiempo, sin embargo presenta un ciclo anual que se lo puede representar mediante una formulación y que responde a los movimientos característicos de la Tierra y el sol. El comportamiento característica responde aproximadamente a la siguiente ecuación [53]:

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (3.1)$$

⁷ Fuente: J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, Cuarta Edi. New Jersey, 2013, pp. 1–910.

Donde:

G_{on} = Radiación extraterrestre medida en el plano normal a la radiación en el día “n” del año (W/m^2).

G_{sc} = Constante solar ($1367 W/m^2$).

n = Día del año de 1 a 365.

Para representar el comportamiento anual de la radiación extraterrestre se ejecutó un programa en Matlab y se detalla en el Anexo C, los datos obtenidos fueron utilizados para representar gráficamente a la radiación extraterrestre, esto lo observamos en la figura 3.1.

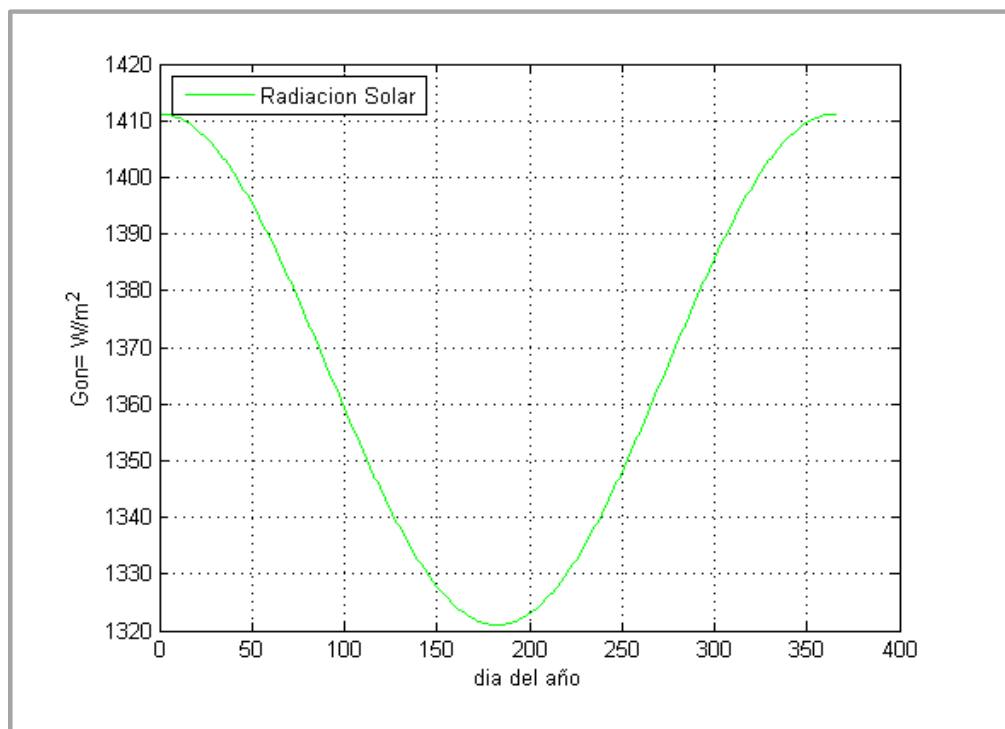


Figura 3.1: Comportamiento Anual de la Radiación Solar Extraterrestre.
Fuente: Propia del Autor

3.1.2 Componentes de la radiación solar.

La radiación solar que recibe la superficie terrestre incidirán distintos tipos de energía radiante [54] [55] :

- **Radiación Directa:** aquella que proviene directamente del sol e incide sobre la superficie sin cambiar de dirección.
- **Radiación Difusa:** es aquella radiación dispersada por los componentes atmosféricos.
- **Radiación Reflejada:** también llamada albedo, radiación que llega a la superficie considerada, después de haberse reflejado en las superficies del entorno.
- **Radiación Global:** es la suma de la radiación directa y la radiación difusa.
- **Radiación Total:** es la suma de la radiación directa, difusa y albedo.

3.1.3 Irradiación solar.

Es una medida de la cantidad de energía solar que llega a una superficie determinada durante un periodo de tiempo determinado [52], partiendo que la superficie de la tierra no es plana, se desarrolló un modelo matemático que permita analizar el recurso solar sobre una superficie inclinada partiendo de la ecuación cuadrática indicada en la ecuación 3.2 [31]:

$$G_{dm}(\beta) = A * G_{dm}(0) + B * (G_{dm}(0))^2 \quad (3.2)$$

Donde:

G_{dm} = Irradiación Solar sobre una superficie inclinada β grados.

A = Coeficiente que depende del ángulo de inclinación β y del coeficiente de reflectividad del suelo ρ .

$G_{dm}(0)$ = Irradiación solar sobre una superficie horizontal.

B = Coeficiente que depende de la latitud del sitio \emptyset , del ángulo de inclinación β y del mes del año.

Para nuestro caso el coeficiente A se lo obtuvo de la tabla 3.1 [31] y dependiendo del ángulo de inclinación que para nuestro caso es de $+5^\circ$ por estar cerca de la línea ecuatorial y con un coeficiente de reflectividad del suelo ρ es 0.4 por tratarse de una superficie de cemento [56].

Tabla 3.1: Valores del coeficiente A.

A	$\rho = 0.2$	$\rho = 0.3$	$\rho = 0.4$	$\rho = 0.5$	$\rho = 0.6$
$\beta = 0^\circ$	1	1	1	1	1
$\beta = \pm 5^\circ$	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999
$\beta = \pm 10^\circ$	0.994	0.995	0.995	0.996	0.997

Para el coeficiente B tabla 3.2 [31], este depende de la latitud ϕ tomando como referencia el edificio principal de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Kennedy (figura 3.2) y con ayuda de Google Earth las coordenadas son latitud $0^\circ 8' 34.19''\text{S}$.

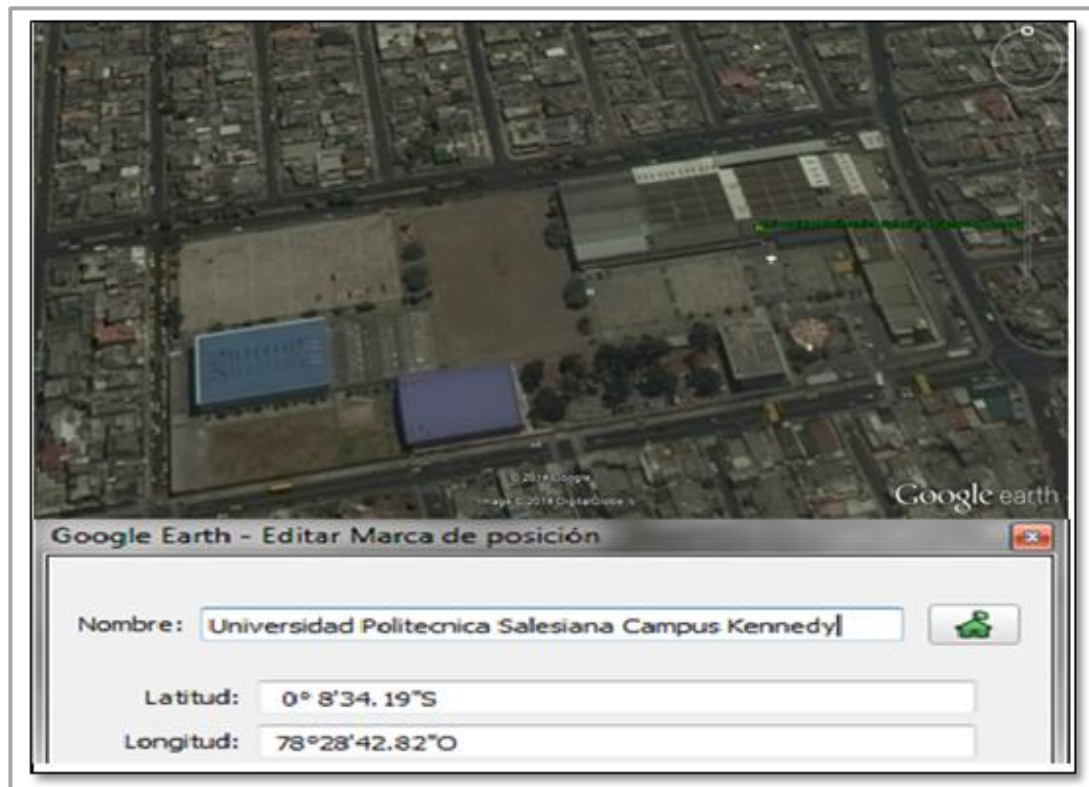


Figura 3.2: Universidad Politécnica Salesiana Campus Kennedy ubicación en Google Earth.
Fuente: Google Earth.

Transformando el valor tenemos la latitud es $\phi = 0.1428$, ya que este valor no lo vamos a encontrar en las tablas optamos por un valor de $\phi = 0$.

Tabla 3.2: Valores del coeficiente B para todo el año.

$\beta = +5^\circ$	$B (\phi = 0^\circ)$
ENE	0.0056
FEB	0.0033
MAR	0.0004
ABR	-0.0027
MAY	-0.0056
JUN	-0.0072
JUL	-0.0065
AGO	-0.0039
SEP	-0.0007
OCT	0.0024
NOV	0.0051
DIC	0.0064

El valor de la irradiación sobre una superficie horizontal $G_{dm}(0)$ se lo obtiene de anuarios, para el Ecuador se puede utilizar el Atlas Solar desarrollado por el CONELEC y se puede determinar una media mensual, estos datos lo visualizamos en la tabla 3.3 [56].

Tabla 3.3: Valores de irradiación sobre una superficie horizontal.

MES	Gdm (0)
ENE	4.31
FEB	4.46
MAR	4.52
ABR	4.39
MAY	4.16
JUN	4.01
JUL	4.07
AGO	4.27
SEP	4.44
OCT	4.45
NOV	4.33
DIC	4.25

Ya con los datos obtenidos podemos representar la irradiación mensual solar sobre una superficie inclinada, empleando la ecuación 3.2, se ejecutó un programa en Matlab el mismo que se detalla en el Anexo D, los datos obtenidos fueron utilizados para representar gráficamente la irradiación mensual, esto lo observamos en la figura 3.3.

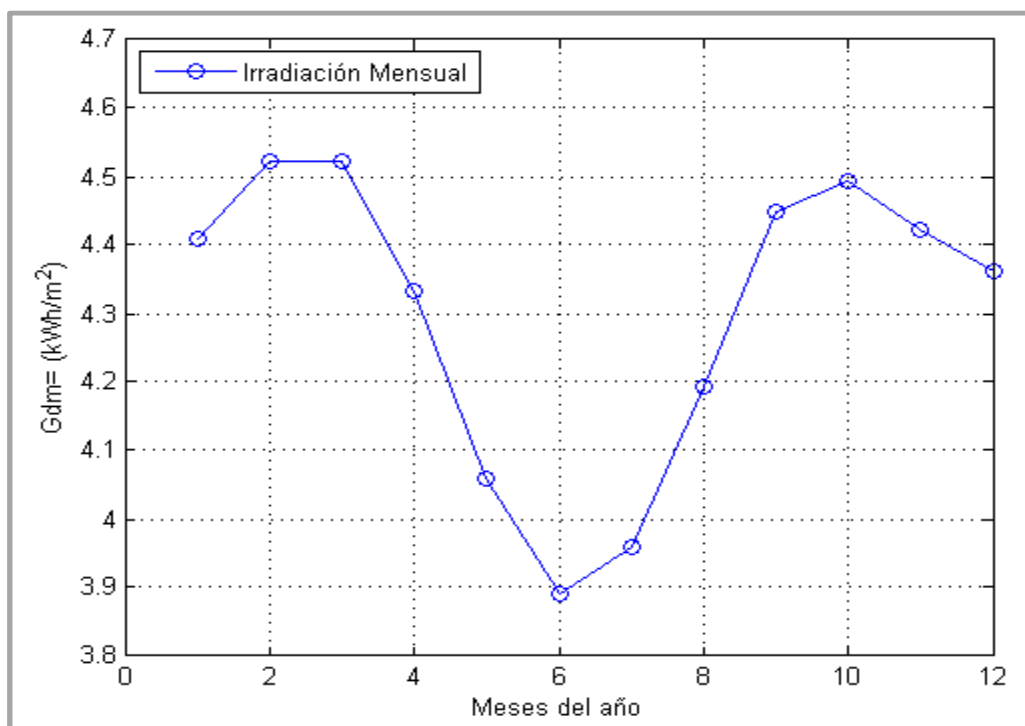


Figura 3.3: Comportamiento Mensual de la Irradiación Solar sobre una Superficie Inclinada
Fuente: Propia del Autor

Por otra parte con estos datos obtenidos tenemos el valor de cada mes de irradiación solar en una superficie inclinada, como se muestra en la tabla 3.4, como se puede observar el mes de Marzo es el de mayor irradiación solar con $4.523 \text{ (kWh/m}^2\text{)}$ y el peor mes es el de Junio con $3.890 \text{ (kWh/m}^2\text{)}$.

Tabla 3.4: Valores de irradiación solar mensual sobre una superficie inclinada.

MES	Gdm (kWh/m2)
ENE	4.409
FEB	4.512
MAR	4.523
ABR	4.333
MAY	4.058
JUN	3.890
JUL	3.958
AGO	4.194
SEP	4.435
OCT	4.493
NOV	4.421
DIC	4.361

3.1.3.1 Irradiación solar diaria.

Para realizar la modelación de la irradiación solar diaria, se hizo uso de la ecuación 3.2 con el mismo coeficiente A empleado anteriormente, para el coeficiente B se utilizó el valor correspondiente al mes de Junio por ser el peor mes de irradiación en el año, para los datos de radiación solar se consultó en la página web de la Secretaría del Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito las lecturas diarias para el mes de Junio del año 2014 de radiación solar (W/m^2) [57], con su grafica correspondiente, estos datos los encontramos en el anexo E. Ya con los datos completos se efectuó un programa en Matlab, el cual lo podemos ver en detalle en el anexo F y visualizar los datos obtenidos en una gráfica de la irradiación solar diaria en la figura 3.4.

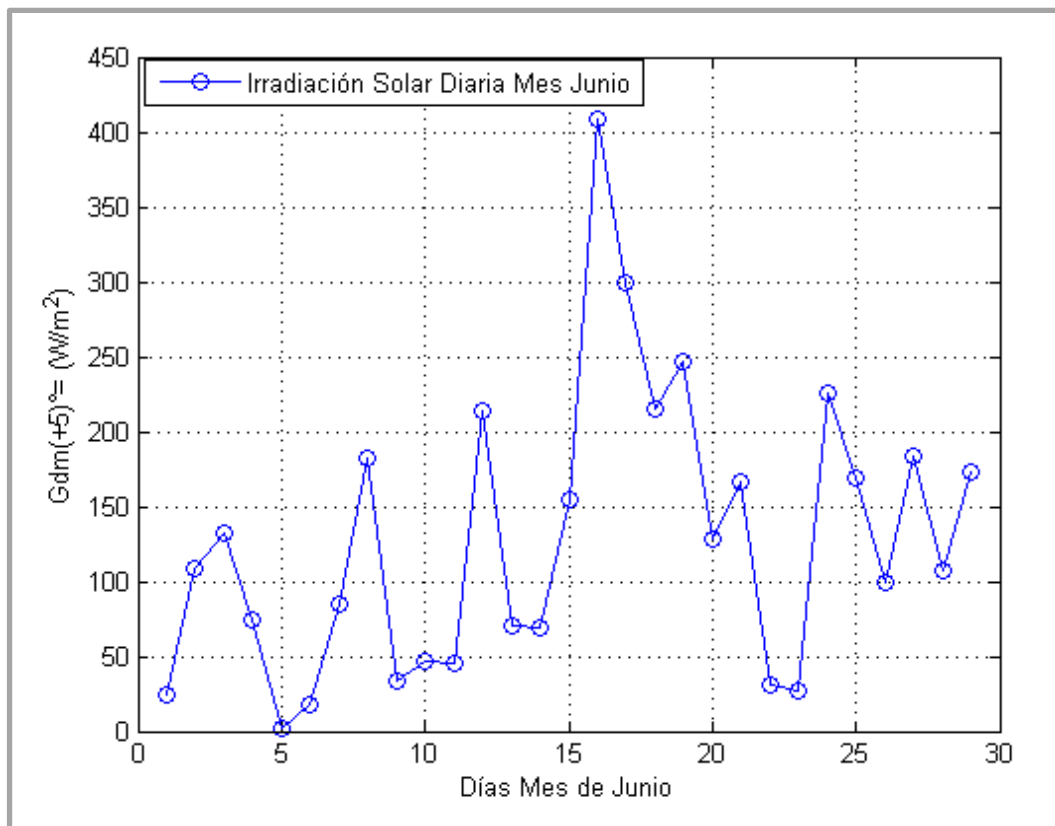


Figura 3.4: Comportamiento Diario de la Irradiación Solar sobre una Superficie Inclinada para el mes de Junio

Fuente: Propia del Autor.

3.2 Cuantificación de la potencia.

Para realizar la cuantificación de potencia para esta investigación se tomó como

patrón al edificio principal de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Kennedy, en la figura 3.5 se muestra la fachada frontal, se realizó un levantamiento de todas las luminarias existentes, tanto en aulas, salones, laboratorios, oficinas y patios.

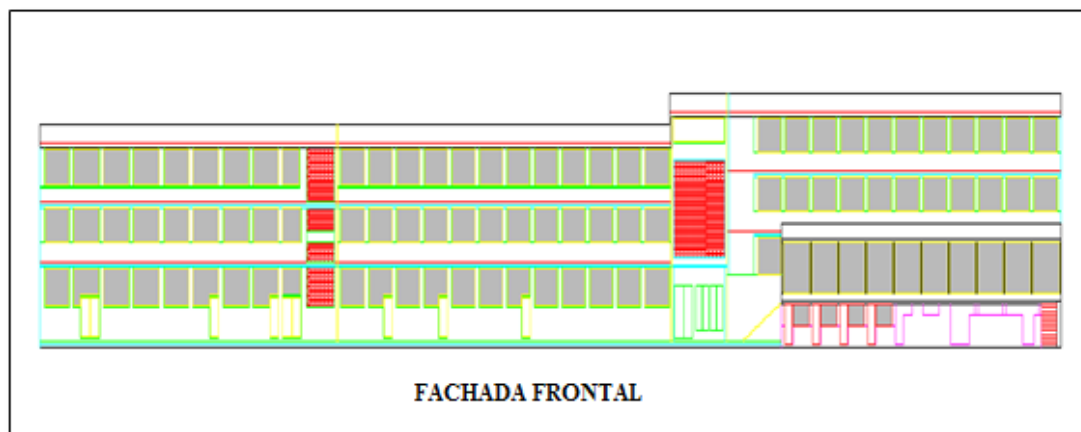


Figura 3.5: Fachada Frontal Universidad Politécnica Salesiana Campus Kennedy
Fuente: Propia del Autor

Se formalizo un formato estándar para realizar el levantamiento de todas la luminarias, el cual consta de lo siguiente: columna 1 número de ítem, columna 2 la cantidad de luminarias existentes por cada aula o salón, columna 3 la ubicación ya sea planta baja, altillo, segundo piso, tercer piso, columna 4 tipo de luminarias identificadas con numeración las misma que están descritas en observaciones, columna 5 voltaje en el que funcionan las lámparas, columna 6 potencia de la las luminarias en watos (W), columna 7 describe el aula o salón correspondiente.

En la figura 3.6 se muestra el área de Mecánica ubicada en la planta baja (primer piso) donde se encuentran en su mayoría los laboratorios de la carrera de Mecánica, oficinas y otros , en el anexo G se muestra el levantamiento de las luminarias existentes en esta área, cuantificando la potencia de esta sección tenemos un total de 17232 (W).

En la figura 3.7 se muestra el área de Eléctrica ubicada en la planta baja (primer piso) donde se encuentran en su mayoría los laboratorios de la carrera de Eléctrica, aulas, oficinas y otros, en el anexo H se muestra el levantamiento de las luminarias existentes en esta área, cuantificando la potencia de esta sección tenemos un total de 21606 (W).

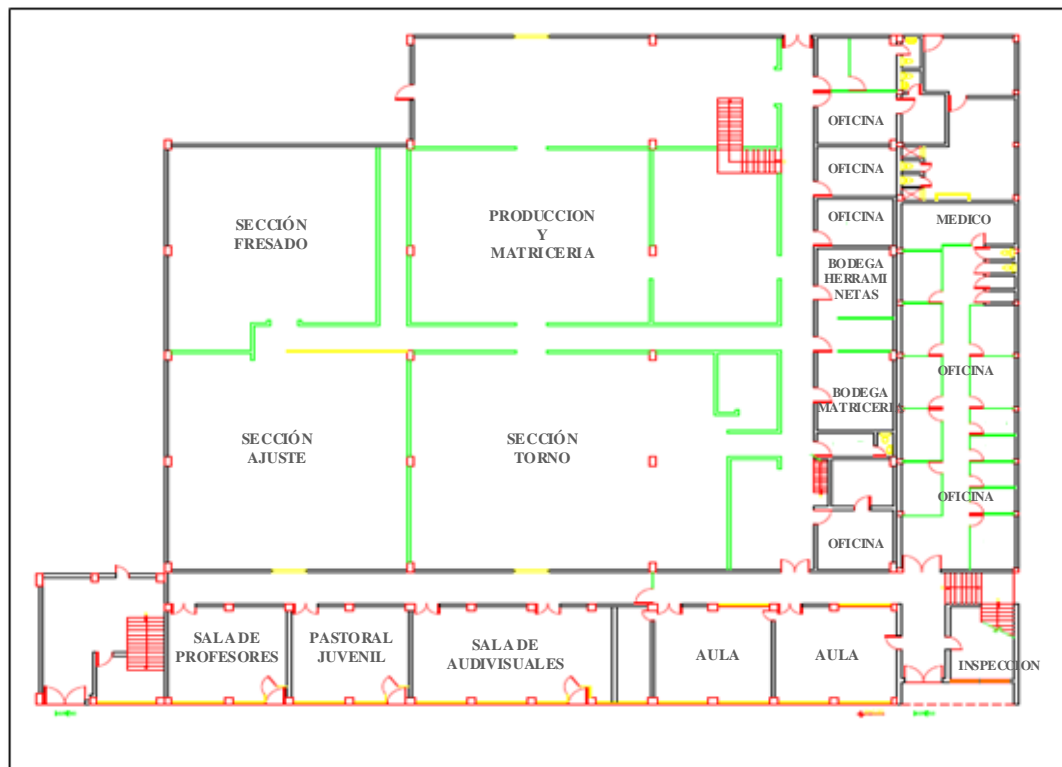


Figura 3.6: Área Mecánica Universidad Politécnica Salesiana Campus Kennedy
Fuente: Propia del Autor

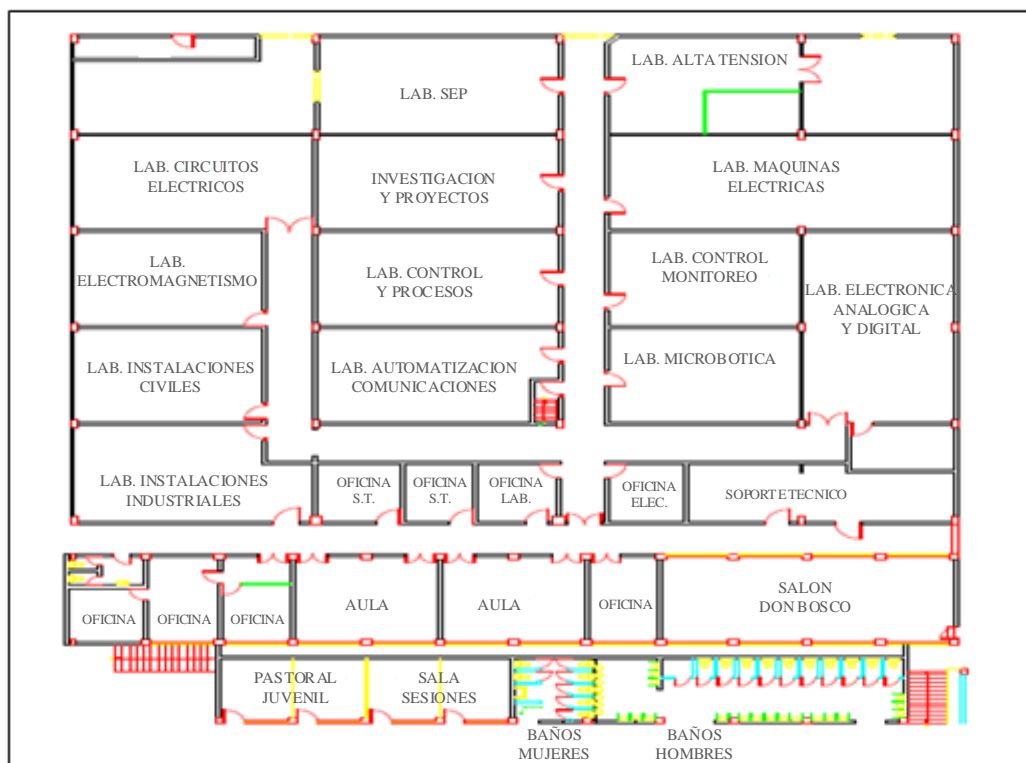


Figura 3.7: Área Eléctrica Universidad Politécnica Salesiana Campus Kennedy
Fuente: Propia del Autor

En la figura 3.8 se muestra el área los Altillos tanto en los laboratorios de Mecánica como en Eléctrica, en el anexo I se muestra el levantamiento de las luminarias existentes tanto en esta área como en la fachada frontal y patios, cuantificando la potencia de esta sección tenemos un total de 13120 (W).

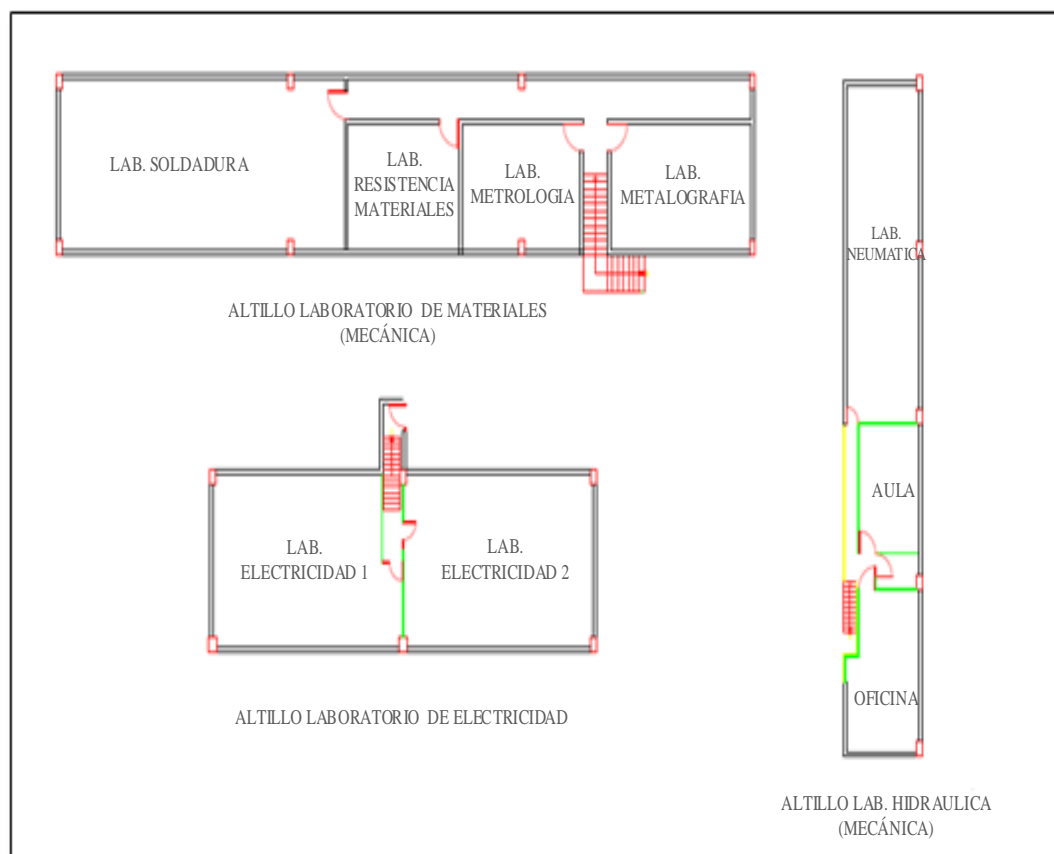


Figura 3.8: Altillos de Mecánica y Eléctrica Universidad Politécnica Salesiana Campus Kennedy.
Fuente: Propia del Autor

En la figura 3.9 se muestra el segundo piso, en el anexo J se muestra el levantamiento de las luminarias existentes en esta área, cuantificando la potencia de esta sección tenemos un total de 14592 (W).

En la figura 3.10 se muestra el tercer piso, en el anexo k se muestra el levantamiento de las luminarias existentes, cuantificando la potencia de esta sección tenemos un total de 10848 (W).

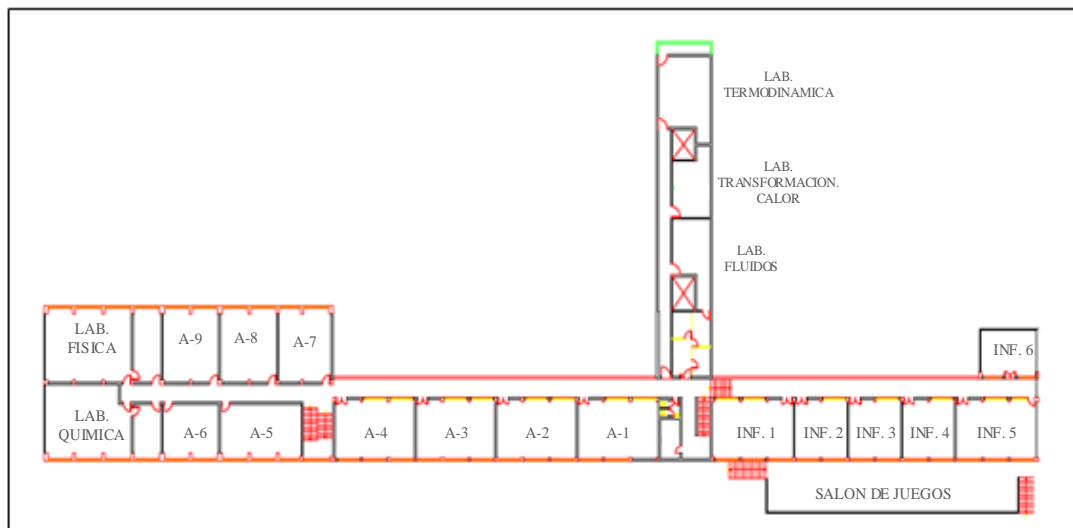


Figura 3.9: Segundo Piso Universidad Politécnica Salesiana Campus Kennedy
Fuente: Propia del Autor



Figura 3.10: Tercer Piso Universidad Politécnica Salesiana Campus Kennedy.
Fuente: Propia del Autor.

3.2.1 Determinación de la potencia máxima.

El propósito es el determinar el valor de potencia máxima requerida para realizar el diseño de los componentes del sistema fotovoltaico, como se muestra en la tabla 3.5 los valores de potencia cuantificados por cada una de las áreas y pisos, sumados estos valores se obtuvo la potencia máxima requerida para satisfacer las necesidades de

iluminación. Para ello se tomó como referencia las Normas para Sistemas de Distribución Parte A de la Empresa Eléctrica Quito [58], empleando el Apéndice A-11-D, tomando en consideración que la institución consta con un factor de potencia de 0.96.

Tabla 3.5: *Determinación de la Potencia Máxima.*

ILUMINACIÓN POR ZONAS		
ITEM	DESCRIPCIÓN	POTENCIA (W)
1	MECÁNICA	10305,60
2	ELÉCTRICA	20525,70
3	ALTILLOS Y PATIOS	12464,00
4	SEGUNDO PISO	13862,40
5	TERCER PISO	16370,40
POTENCIA TOTAL =		73528,10

3.3 Componentes del sistema.

Una vez cuantificada la potencia máxima requerida para nuestro sistema fotovoltaico, procedemos a seleccionar los módulos fotovoltaicos para su elección se considera la eficiencia y la potencia pico ya que a mayor potencia su eficiencia es mayor, por ende menor número de módulos a instalar y área a ser utilizada. En esta ocasión se seleccionaron módulos monocristalinos de la marca SIMAX con una potencia máxima pico de 250 Wp, ya que su potencia es una de las más alta en su clase y material tiene una mayor eficiencia a comparación de otros materiales, en el anexo L se muestran los datos del módulo elegido.

Considerando que el inversor a utilizar debe proporcionar la potencia requerida para el caso más rico que fuera cuando todas las cargas se encuentren conectadas al sistema, por lo que se seleccionó un inversor de la marca SUNNY BOY con una potencia máxima de salida de 11.4 kW, tensión nominal de 220 – 240 VAC, en el anexo M se muestran los datos completos del inversor.

3.3.1 Cálculo del número de módulos fotovoltaicos.

Para definir el número de módulos necesarios se emplea la ecuación 3.3, en la que

se emplea la potencia máxima y la potencia del módulo fotovoltaico [59].

$$No. Modulos = \frac{P_{max}}{P_{panel}} \quad (3.3)$$

De acuerdo a lo calculado se utilizaran 294 módulos fotovoltaicos para satisfacer la demanda de luminarias en la institución educativa.

3.3.2 Cálculo de arreglos de los módulos fotovoltaicos.

Utilizando las características técnicas tanto del inversor como de los módulos fotovoltaicos referidas en los anexos L y M, podemos calcular los arreglos máximos en serie empleando el voltaje máximo de entrada del inversor y el voltaje de operación del panel con la ecuación 3.4, en cambio para los arreglos mínimos en serie se utiliza la ecuación 3.5 con el voltaje mínimo de entrada del inversor y el voltaje mínimo de operación del panel, para los módulos en paralelo ecuación 3.6 se emplea la corriente máxima del inversor y la corriente de corto circuito del módulo fotovoltaico [60].

$$Ns \text{ máximo} = \frac{V_{max.de entrada del inversor}}{V_{oc(panel)}} \quad (3.4)$$

$$Ns \text{ mínimo} = \frac{V_{min.de entrada del inversor}}{V_{oc \text{ min}(panel)}} \quad (3.5)$$

$$Np = \frac{I_{max inversor}}{I_{cc (panel)}} \quad (3.6)$$

Con los resultados obtenidos se seleccionó por 13 módulos en serie máximo y 11 módulos mínimo, en este caso se toma como arreglo 13 módulos en serie y 4 módulos en paralelo, esto debido a que la potencia con 52 módulos de 250 W nos da 13000 W, tomando en consideración que el valor de potencia del inversor escogido es de 11000 W, tomando en cuenta como parte del cálculo es necesario considerar el factor de ajuste que es 0.85 entonces la potencia real de 52 módulos es de 11050 W, este valor se encuentra en el rango de potencia del inversor elegido.

3.3.3 Determinación de número de los inversores.

Para poder determinar cuántos inversores deben ser implementados se requiere la potencia máxima requerida y la potencia del inversor [60].

$$\text{Número de Inversores} = \frac{P_{max}}{P_{ca \text{ Inversor}}} \quad (3.7)$$

Los inversores a utilizar serán 7 distribuidos equitativamente para todas las cargas existentes en cada una de las áreas de la institución educativa.

3.3.4 Determinación distancia entre módulos.

Para establecer la distancia entre los módulos fotovoltaicos figura 3.11, considerando que el ángulo β es de 5° y la longitud L del módulo que es de 0.992 metros, determinamos la altura (h).

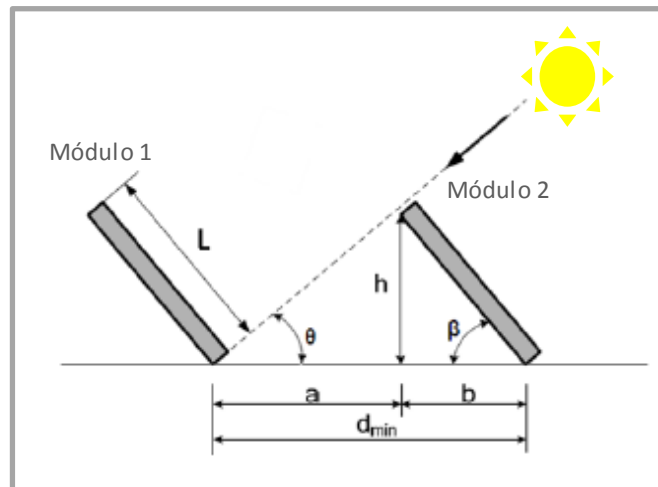


Figura 3.11: Distancia mínima entre paneles.
Fuente: Propia del Autor

Entonces:

$$\sin \beta = \frac{h}{L} \quad (3.8)$$

La altura para cada módulo fotovoltaico se de 0,086 metros.

Empleamos la ecuación 3.9, con el coseno de β y la longitud del panel se calcula el valor de b .

$$\cos\beta = \frac{b}{L} \quad (3.9)$$

El resultado de b para ser implementado es de 0,988 metros.

Para la distancia mínima entre paneles utilizamos la ecuación 3.10 en la que se multiplica el valor de altura (h) por 2,5 y sumamos el valor de la distancia b , el valor incorporado es empleado con el fin de evitar que se obstaculice la radiación solar entre paneles.

$$D_{min} = (h * 2,5) + b \quad (3.10)$$

La distancia mínima entre cada uno de los módulos es de 1,203 metros de separación.

3.3.5 Cálculo de protecciones.

Las protecciones es una parte primordial en nuestro sistema, ya que nos permiten proteger tanto el funcionamiento como a los equipos implementados, estas protecciones deben ser colocadas tanto en el lado de corriente continua como en el lado de corriente alterna [60].

Para calcular las protecciones en corriente continua (Pf) se emplea la corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico, por lo que tenemos:

$$Pf = 1.2 * I_{cc \text{ panel}} \quad (3.11)$$

Como en el mercado no existe fusibles de 10.56A normalizamos este valor colocando fusibles de 16 A.

En el caso para la protección principal (Pp) para corriente alterna se emplea el número de módulos en paralelo por la corriente de cortocircuito del panel por lo que

tenemos:

$$Pp = 1.2 * Npp * Icc \text{ panel} \quad (3.12)$$

De igual manera el valor obtenido es de 42.44 A al normalizar el valor de la protección principal, el valor inmediato superior es de 50 A por lo que las protecciones serán de este valor para cada uno de los inversores.

3.3.6 Cálculo de conductores.

Ya determinadas las protecciones tanto para corriente continua como para la parte de corriente alterna y por ende los valores de corriente, podemos establecer los conductores utilizando las ecuaciones 3.11 para sistemas monofásicos y la ecuación 3.12 para sistemas trifásicos, con estas ecuaciones determinamos la sección del conductor.

$$S = \frac{2 * \rho * L * I * \cos \varphi}{\Delta V \%} \quad (3.13)$$

$$S = \frac{\sqrt{3} * \rho * L * I * \cos \varphi}{\Delta V \%} \quad (3.14)$$

Donde:

ρ = Resistividad del conductor ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$).

L = Longitud del cable (m).

I = Intensidad de corriente (A).

$\cos \varphi$ = Factor de potencia de la carga.

$\Delta V \%$ = Caída de tensión admisible en la línea.

En el caso del conductor que va desde los módulos fotovoltaicos al inversor empleamos la ecuación 3.11, obteniendo un valor de sección de 2,93 con este valor se verifica la tabla de calibres de conductores figura 3.12 [61], la cual da un calibre de conductor # 12 THHN. Para el caso del inversor al tablero de conexiones se emplea la ecuación 3.12, logrando un valor de sección de 3,87 al verificar en la tabla el calibre

corresponde da al conductor # 10 THHN.

Calibre AWG ó MCM	Sección mm ²	FORMACION	ESPESOR AISLAM. mm	ESPESOR CHAQUETA mm	DIAM. EXTERIOR mm	PESO TOTAL Kg/Km	Capacidad de corriente		TIPO CABLE	Altern. de embal.
		No. de Hilos por diámetro en mm.					Para 1 cond. al aire libre Amp.	Para 3 cond. en conduit Amp.		
20	0.519	1 x 0.813	0.38	0.10	1.77	7.07	15	10	TFN	A,B
18	0.823	1 x 1,02	0.38	0.10	1.98	10.94	15	10	TFN	A,B
16	1.31	1 x 1,29	0.38	0.10	2.25	16.48	20	15	TFN	A,B
14	2.08	1 x 1,63	0.38	0.10	2.59	23.17	35	25	THHN	A,B
12	3.31	1 x 2,05	0.38	0.10	3.01	34.16	40	30	THHN	A,C
10	5.26	1 x 2,59	0.51	0.10	3.81	55.04	55	40	THHN	A,D
8	8.34	1 x 3,26	0.76	0.13	5.04	91.22	80	55	THHN	A,B
16	1.31	19 x 0,30	0.38	0.10	2.46	17.95	20	15	TFN	A,B
14	2.08	19 x 0,38	0.38	0.10	2.86	23.80	35	25	THHN	A,B
12	3.31	19 x 0,47	0.38	0.10	3.31	35.70	40	30	THHN	A,C
10	5.26	19 x 0,60	0.51	0.10	4.22	56.20	55	40	THHN	A,D
8	8.37	7 x 1,23	0.76	0.13	5.47	93.70	80	55	THHN	A,B,E
6	13.30	7 x 1,55	0.76	0.13	6.43	141.30	105	75	THHN	A,E
4	21.15	7 x 1,96	1.02	0.15	8.22	227.60	140	95	THHN	A,E
2	33.62	7 x 2,47	1.02	0.15	9.75	348.10	190	130	THHN	A,E
1	42.36	7 x 2,78	1.27	0.18	11.24	446.20	220	150	THHN	A,D,E

Figura 3.12: Datos técnicos de los calibres de conductores THHN.

Fuente: ELECTROCABLES, "Características Generales de los Conductores Eléctricos." [Online].
Available: <http://electrocable.com/productos/cobre/THHN.html>. [Accessed: 21-Feb-2015].

3.4 Modelo de gestión del sistema.

Para el diseño del sistema fotovoltaico conectado a la red se distribuyó equitativamente todas las cargas existentes y mencionadas en el apartado 3.2. En la tabla 3.6 se muestra la repartición de las cargas para cada uno de los inversores planteados.

Tabla 3.6: Distribución de cargas en inversores.

Numero Inversor	Cargas
Inversor 1	Mecánica
Inversor 2	Eléctrica
Inversor 3	Eléctrica - Patios
Inversor 4	Altos - Fachada Frontal
Inversor 5	Segundo Piso
Inversor 6	Segundo y Tercer Piso
Inversor 7	Tercer Piso

Cabe mencionar que el sistema fotovoltaico diseñado es trifásico 230 VAC, por lo que para este diseño se optó la colocación de barras de cobre de 350 A en el tablero principal para la distribución de cada uno los inversores. En la figura 3.13 se muestran el diagrama con los equipos diseñados para nuestro sistema el cual consta de la acometida de la red de distribución de energía, un contador de energía bidireccional que permite contabilizar la energía suministrada por la compañía de distribución de energía eléctrica y la energía enviada por el sistema fotovoltaico, consta de un tablero principal de distribución, breaker de protección de 50 A para corriente alterna, inversor, protecciones de corriente continua y los módulos fotovoltaicos.

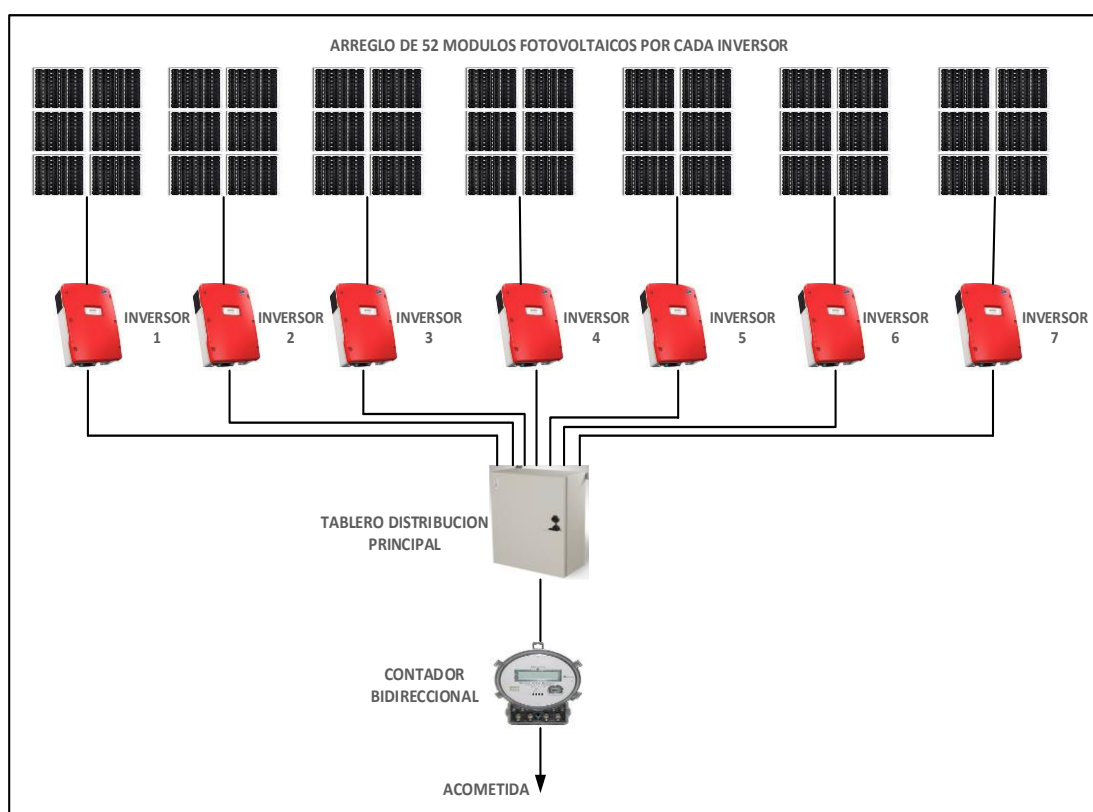


Figura 3.13: Diagrama del sistema fotovoltaico conectado a la red.
Fuente: Propia del Autor

Ya con el sistema fotovoltaico completo podemos comparar la potencia generada por nuestro sistema en un día y la potencia de carga que podría ser, para ello en la tabla 3.7 obtenemos el estimado del uso de carga instalada en toda la institución en 24 horas, de igual manera la potencia que se generaría en el sistema fotovoltaico en un día.

Tabla 3.7: Estimación de potencia de carga y generación.

Horas	Potencia Cargas (kW)	Potencia Generación (kW)
0:00:00	3,6	0
1:00:00	3,6	0
2:00:00	3,6	0
3:00:00	3,6	0
4:00:00	3,6	0
5:00:00	3,6	0
6:00:00	7,4	0
7:00:00	51,5	2,31
8:00:00	44,117	7,7
9:00:00	36,765	23,1
10:00:00	36,765	38,5
11:00:00	36,765	69,3
12:00:00	36,765	77
13:00:00	36,765	77
14:00:00	29,411	69,3
15:00:00	22,058	53,9
16:00:00	22,058	38,5
17:00:00	44,117	23,1
18:00:00	58,822	0
19:00:00	69,852	0
20:00:00	69,852	0
21:00:00	69,852	0
22:00:00	22,058	0
23:00:00	3,6	0

Con estos datos y con la ayuda de un software matemático como lo es Matlab obtenemos las curvas de generación y carga en un día figura 3.14, al comparar estas dos curvas podemos obtener datos muy importantes como el saber si nuestro sistema puede vender energía o cuando se encuentra consumiendo lo generado por los módulos fotovoltaicos. La programación se la detalla en el anexo N.

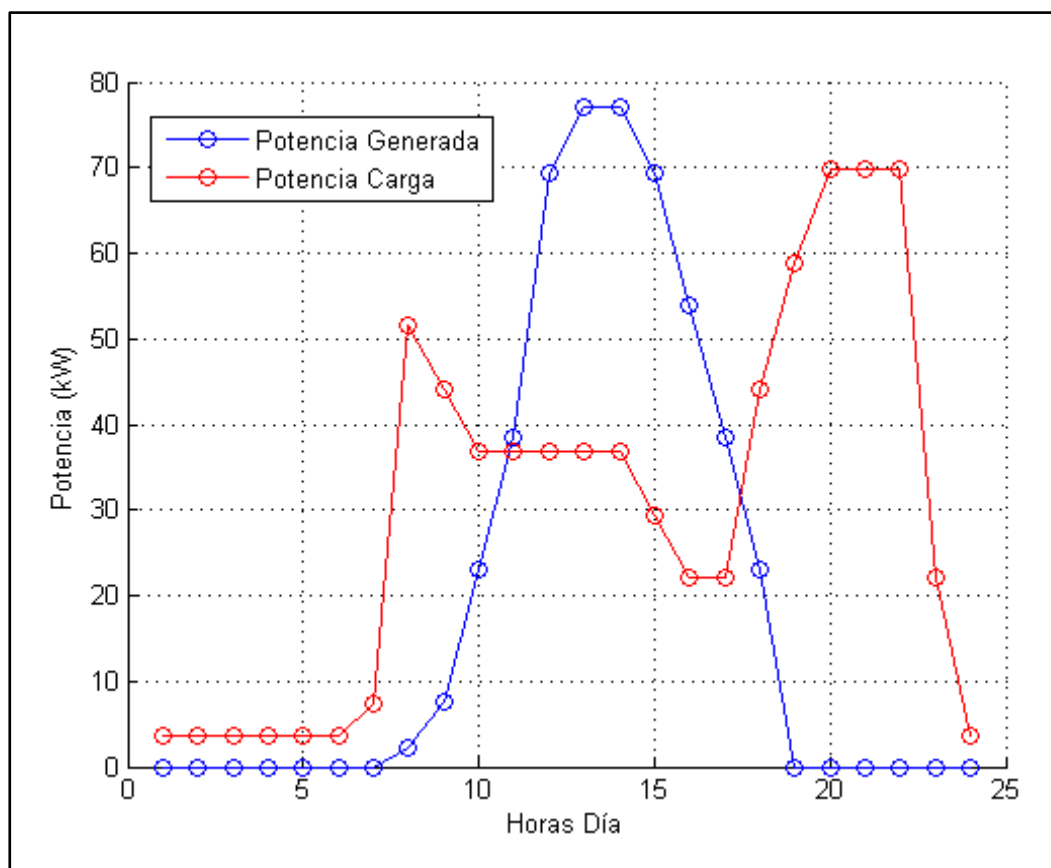


Figura 3.14: Curvas de Carga y Generación Sistema Fotovoltaico.

Fuente: Propia del Autor

Al analizar las curvas tanto de generación como de carga se establece cuanta energía puede vender el sistema, para ello se compara punto a punto cada una de las dos curvas relacionando si la potencia de generación es mayor a la potencia de carga, en la figura 3.15 conseguimos visualizar que a partir de las 11:00 de la mañana hasta las 17:30 el sistema fotovoltaico puede vender energía y ser utilizada por la institución.

De la misma manera para conocer en que horario es utilizada la energía entregada por la distribuidora local se compara de igual forma pero refiriéndonos en que si la potencia de generación es menor que la potencia de carga, en la figura 3.16 observamos que a partir de las 00:00 hasta las 11:00 de la mañana y en la tarde desde las 17:30 hasta 24:00 se pide a la distribuidora de energía.

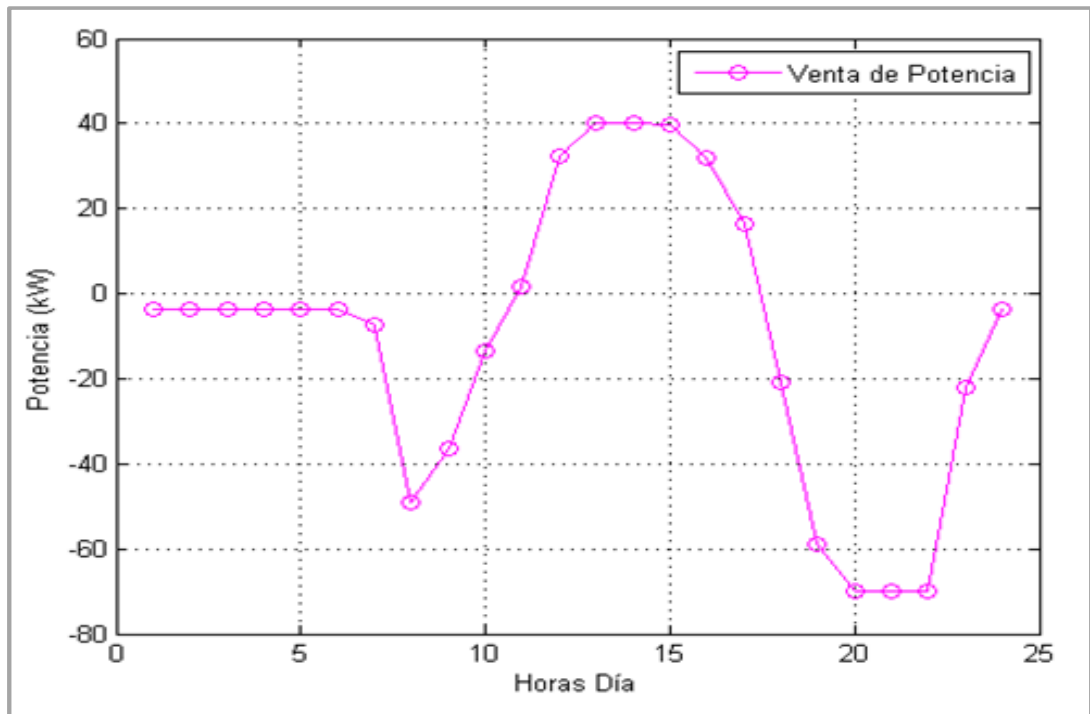


Figura 3.15: Curva de consumo del sistema fotovoltaico.
Fuente: Propia del Autor.

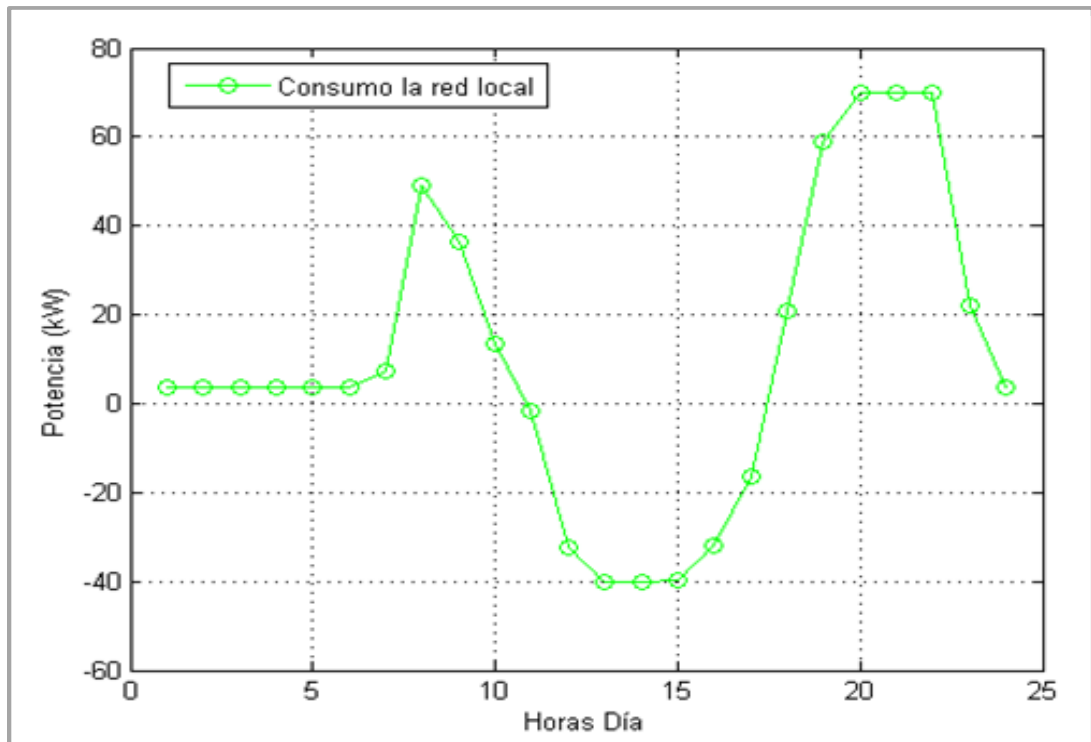


Figura 3.16: Curva de consumo de la red distribuidora.
Fuente: Propia del Autor.

Para visualizar de mejor manera las zonas de consumo del sistema fotovoltaico y consumo de la red distribuidora, al juntar las curvas en la figura 3.16 se observar las horas y potencia en las que se consume respectivamente cada una de estas.

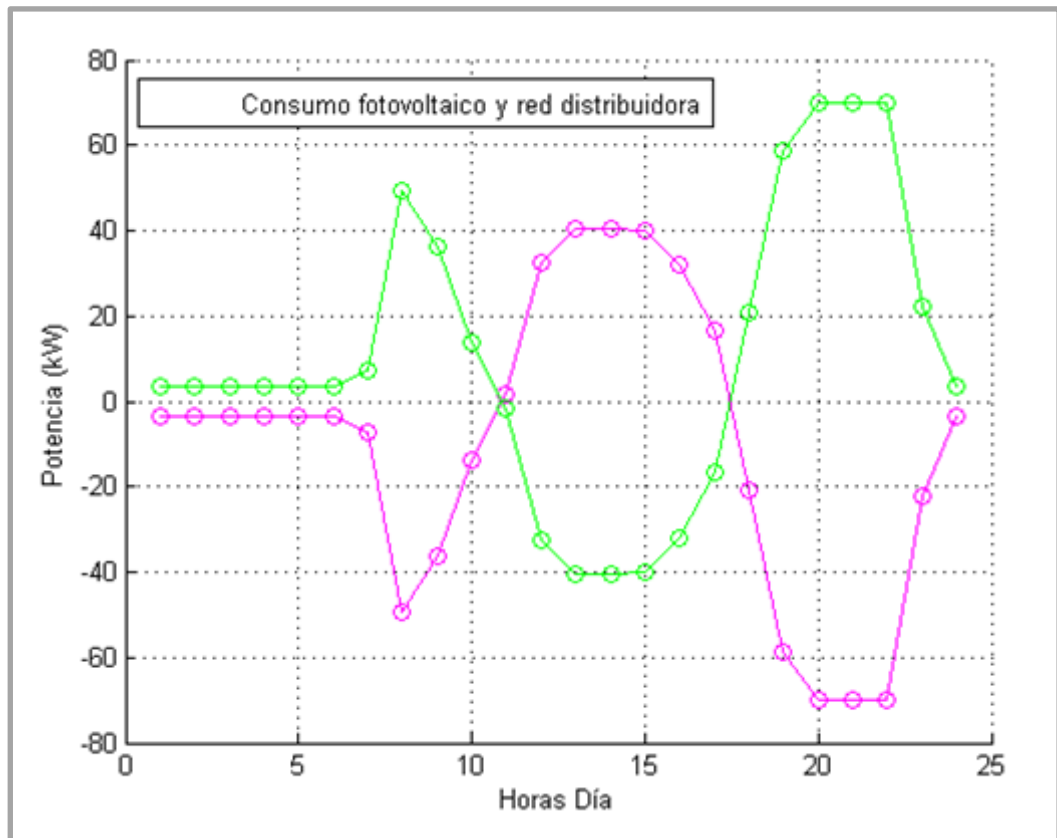


Figura 3.17: Curva de consumo fotovoltaico y red distribuidora.
Fuente: Propia del Autor.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS ESPERADOS

En el último capítulo se describen a los artículos establecidos en la constitución para la implementación de sistemas de generación de energía eléctrica con energías no convencionales, se referencia los precios de la energía solar fotovoltaica vigente en el Ecuador, los incentivos existentes para la implementación para este tipo de proyectos, cabe mencionar que en el mundo se espera llegar a una paridad en el precio de la energía fotovoltaica. Es importante cuantificar los gases de efecto invernadero que se dejarían de emitir al implementar este tipo de proyecto, a su vez se considera el impacto social que tiene esta clase de planes los cuales tienen un impacto laboral, medio ambiente y principalmente en el entorno familiar de los usuarios que se benefician con esta clase de proyectos. Refiriéndose al análisis económico en el cual se considera si la implementación de un sistema de energía fotovoltaica en una institución educativa es rentable se considera la producción energética, el valor actual neto, la tasa de rentabilidad del sistema y la relación costo beneficio, los mismos que nos para este proyecto una viabilidad al ser implementado.

4.1 Mapa de ruta para edificaciones educativas.

En el Ecuador la Constitución de la República establece que el *“Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientales y energías alternativas no convencionales y de bajo impacto”*⁸, esto muestra el interés en promover el cuidado ambiental y la generación de nuevas alternativas en la generación de energía eléctrica por ello cabe mencionar que en la sección séptima de esta constitución la cual habla de biosfera, ecología urbana y energías alternativas en su artículo 413 se constituye que se *“promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientales limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas y de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas”*⁹.

^{8,2} Fuente: Asamblea Constituyente, “CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR,” pp. 1–217.

Por otro lado con el incremento diario de la tecnología a nivel mundial y aplicado para el uso de energía no convencional y su aprovechamiento para la generación de energía eléctrica en el país cada vez son más los proyectos a implementar, pese a que no existe un reglamento a seguir, las empresas encargadas de realizar estos proyectos emplean ciertas normas de otros países como las mencionadas en el apartado 1.4.1 de esta investigación.

4.1.1 Precios energías solar fotovoltaica en Ecuador.

En el Ecuador se aplica los precios preferentes para la utilización de energías renovables no convencionales, establecida con la regulación 004/11 emitida por el CONELEC en abril del 2011 y codificada en enero del 2012, reconoce el precio de centavos de dólar para cada kilovatio hora de energía medida en el punto de entrega, para todas las energías renovables, los precios son indicados en la tabla 4.1, los cuales se encuentran vigentes para un período de quince años a partir de la fecha de suscripción del contrato hasta el 31 de diciembre del 2012, los proyectos que se suscriban a partir del año 2013 el CONELEC hará una revisión de precios de energía y periodo de vigencia basadas en referencias internacionales con un estimado al mercado ecuatoriano [16]

Tabla 4.1: Valores Precios Preferentes para Energía Renovable en (cUSD/kWh).

Centrales	Territorio Continental	Territorio Insular de Galápagos
EÓLICAS	9.13	10.04
FOTOVOLTAICAS	40.03	44.03
SOLAR TERMOELÉCTRICA	31.02	34.12
CORRIENTES MARINAS	44.77	49.25
BIOMASA Y BIOGÁS < 5 MW	11.05	12.16
BIOMASA Y BIOGÁS > 5 MW	9.60	10.56
GEOTÉRMICAS	13.21	14.53

A pesar de que la regulación 004/11 ya no se encuentra vigente se tomaron los valores para la energía fotovoltaica para los cálculos de esta investigación ya que en la nueva regulación 001/13 se busca priorizar la participación de otras fuentes de energía no convencional como son la biomasa y el biogás.

Cabe mencionar que el CONELEC debe asignar con prioridad fondos FERUM o conocido como Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal a proyectos de electrificación rural que se basen en la utilización de recursos no convencionales tales como energía solar, eólica, geotérmica, biomasa y otras. En la tabla 4.2 tenemos los montos asignados, esto va a depender del tipo de usuario que se asigne, los usuarios son tipo I que debe ser cuya demanda requiera panel fotovoltaico hasta 200 Wp, el usuario tipo II cuya demanda requiera uno o más paneles fotovoltaicos con una potencia superior a 200 Wp, en estos dos usuarios se incluye el inversor, implementos básicos de instalaciones y capacitación para los beneficiarios, también como usuario se menciona a los centros comunales de salud y educación, proyectos para bombeo de agua [62].

Tabla 4.2: Montos a consignar por el FERUM.

TIPO DE USUARIO	USD
Tipo I USD/vivienda	3.200
Tipo II USD/vivienda	3.500
Centros: Comunales, Salud y Educación USD/centro	3.800
Bombeo de Agua USD/unidad	4.000

En la ley de Régimen del Sector Eléctrico en su artículo 67 menciona que *“Exonérase el pago de aranceles, demás impuestos adicionales y gravámenes que afecten a la importación de materiales y equipos no producidos en el país, para la investigación, producción, fabricación e instalación de sistemas destinados a la utilización de energía solar, eólica, geotérmica, biomasa y otras previo el informe favorable del CONELEC.*

Exonérase del pago de impuesto sobre la renta, durante cinco años a partir de su instalación a las empresas que, con su inversión, instalen y operen centrales de producción de electricidad usando los recursos energéticos no convencionales señalados en el inciso anterior”¹⁰.

¹⁰ Fuente: Consejo Nacional de Electricidad, “Ley de Régimen del Sector Eléctrico,” pp. 1–38, 2010

4.1.2 Paridad fotovoltaica en el mundo.

Tomando en consideración que la tecnología para la generación de energía fotovoltaica cada vez es mayor y por ende el valor de sus componentes disminuye su costo, se cree que algún momento puede resultar más barato la autoproducción de energía que el comprar está a la compañía de distribución.

Por tal razón en el mundo se busca la paridad fotovoltaica que se define como en el momento en el cual se pueda tener un costo nivelado de la producción de energía fotovoltaica, también se lo identifica con las siglas LCOE y sus valores son expresados en USD/kWh en los cuales se incluyen todos los valores con respecto a su costo inicial, combustible, operación y mantenimiento [63].

Según el estudio realizado por PV Grid Parity Monitor quien analiza la competitividad de la tecnología fotovoltaica en sistemas fotovoltaicos con valores desde 3kW a 50 MW, desarrollado en varias ciudades del mundo los valores del costo de energía son los mencionados en la tabla 4.3 [64].

Tabla 4.3: Costo de Energía Fotovoltaica en el Mundo.

PAÍS	CIUDAD	USD/kWh
Alemania	Berlín	0,39
Italia	Roma	0,32
España	Madrid	0,26
Brasil	San Pablo	0,63
México	Ciudad de México	0,31
Chile	Santiago	0,30

4.2 Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Este análisis se lo va a realizar considerando que la generación de energía eléctrica es generada por una central termoeléctrica que utiliza diésel, para poder generar una potencia de 73528,10 kW la cual es la requerida para satisfacer la demanda de iluminación de nuestra institución educativa tipo.

Para ello es necesario realizar un análisis estequiométrico que consiste en medir las proporciones cuantitativas o relaciones de masa de los elementos químicos

involucrados, por lo que en nuestro caso es el diésel que se encuentra compuesto de C: 85.5%, H: 12.5%, S: 0.5%, calor de combustión de 44 MJ/kg y una eficiencia térmica efectiva de 0.36 [65].

Para este cálculo utilizamos la siguiente ecuación:

$$P_{ef} = \dot{m} * PC * e \quad (4.1)$$

Donde:

P_{ef} = Potencia efectiva.

PC = Calor de Combustión.

e = Eficiencia.

Desarrollando la ecuación 4.1 tenemos:

$$\dot{m} = \frac{P_{ef}}{PC * e} \quad (4.2)$$

$$\dot{m} = 4.64 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m} = 16704 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m} = 400896 \text{ kg/d}$$

Para obtener un valor en galones de consumo diaria debemos transformar las unidades a galones por día obteniendo el siguiente valor:

$$\dot{m} = 124608.28 \text{ Galón/d}$$

Partiendo de la composición del diésel tenemos:

$$CH_{Y/X} S_{Z/X} \quad (4.3)$$

$$\frac{mC}{mH} = \frac{1 * PM - C}{Y/X * PM - H} \quad (4.4)$$

$$Y/X = \frac{PM - C * \%H}{PM - H * \%C} \quad (4.5)$$

$$Y/X = 1.734$$

Del análisis estequiométrico tenemos:

PM – Diésel = 13.79 g

Para obtener las emisiones de CO_2 del diésel:

$$\frac{MCO_2}{MDiesel} = 3.19$$

$$CO_2emitidos = \frac{MCO_2(kg)}{MDiesel(Kg)} * \dot{m} \left(\frac{kg}{d} \right) * 0.7 \quad (4.6)$$

$$CO_2emitidos = 895200.76 \left(\frac{kg}{d} \right)$$

$$CO_2emitidos = 326748.28 \left(\frac{TN}{año} \right)$$

Para obtener las emisiones de SO_2 del diésel.

$$\frac{MSO_2}{MDiesel} = 3.19$$

$$SO_2emitidos = \frac{MSO_2(kg)}{MDiesel(kg)} * \dot{m} \left(\frac{kg}{d} \right) * 0.7 \quad (4.7)$$

$$SO_2emitidos = 1302110.20 \left(\frac{kg}{d} \right)$$

$$SO_2emitidos = 1302.11 \left(\frac{TN}{d} \right)$$

4.3 Impacto social.

Establecer el impacto social al implementar proyectos de generación fotovoltaica conlleva a identificar sus consecuencias creadas de manera directa e indirecta en la sociedad, por ello se mencionará los impactos sociales más apreciables que son posibles de determinar a partir de este proyecto.

4.3.1 Impacto laboral.

Al realizar proyectos de generación de energía fotovoltaica la sociedad puede verse beneficiada principalmente en zonas aisladas que no cuentan con una red de

distribución de energía con el aumento de la productividad laboral ya que los usuarios no se encuentran limitados por los ciclos del día y la noche, por lo que este tipo de tecnología permitiría prolongar las horas de producción en la noche.

Por otro lado el contar con electricidad permite que en las zonas aisladas los usuarios introduzcan herramientas eléctricas que les permitan reducir los tiempos y esfuerzo en realizar los procesos laborales. Todos estos beneficios podrían generar un aumento en la productividad y por ende un aumento en los ingresos económicos.

4.3.2 Impacto en el medio ambiente.

Este tipo de generación fotovoltaica no genera ningún tipo de contaminación ya que hablamos de una energía limpia, silenciosa que no afecta al medio ambiente. Tiene un bajo impacto por contaminación visual en los lugares que son instalados ya que en su gran mayoría los paneles fotovoltaicos son colocados en los techos o estructuras que permiten tener otra utilidad adicional.

Las instalaciones fotovoltaicas no emiten ninguna emisión de contaminación como si lo generan los sistemas de generación térmica o los que utilizan combustibles fósiles al emitir grandes cantidades de CO₂ al ambiente. Cabe mencionar que al cumplir su vida útil los módulos fotovoltaicos deben ser tratados de la manera más idónea ya que en su mayoría pueden ser recicladas y utilizada para la fabricación de nuevos módulos.

4.3.3 Impacto entorno familiar.

Con esta clase de proyectos se puede mejorar la calidad de vida de las familias, ya que al poder contar con electricidad por las noches y como este proyecto lo plantea el utilizar este tipo de energía en instituciones educativas que permitan que en horarios nocturnos funciones escuelas, colegios y universidades, permitiría que las personas que trabajan en el día puedan acudir a estas instituciones en las noches y poder continuar con su preparación personal.

Al generar un ahorro en el costo de consumo de energía y con la opción si el sistema implementado lo permite de poder vender la energía generada, considerando que el

gobierno impulse nuevas políticas y beneficios al implementar estos sistemas se pretende que el ahorro como la venta sean significativas, destinando el ahorro generado a mejorar la calidad de vida de los usuarios.

Por otro parte los proyectos fotovoltaicos permiten el tener acceso a las telecomunicaciones, que pueden ser utilizadas como herramientas de aprendizaje para las instituciones educativas.

4.4 Análisis costo benefico.

4.4.1 Cálculo de la producción energética.

Es necesario el estimar la producción de energía que va a tener nuestro sistema, para nuestro caso lo vamos a realizar de forma mensual, con la ecuación 4.8 obtenemos la producción energética [60].

$$P_i(kWh) = I_i \left(kWh/m^2 \right) * P_p(kWp) * N \quad (4.8)$$

Donde:

I_i = Irradiación solar mes

P_p = Potencia por panel fotovoltaico

N = Numero de paneles

4.1.1 Presupuesto del sistema fotovoltaico.

El presupuesto para la implementación de un sistema fotovoltaico en una institución educativa depende de la cantidad equipos y materiales diseñados que serán implementados, en el constan los módulos fotovoltaicos, inversor, contador de energía, sistema de montaje, instalación de los equipos, supervisión y varios se tomó en cuenta a materiales como cable, tableros y otros, en la tabla 4.5 se detalla cada uno de estos con la cantidad requerida para la instalación, precio unitario y por ende el costo total de cada material.

Tabla 4.4: Producción energética mensual.

MES	IRRADIACION kW/m2	DÍAS	IRRADIANCIA kW/m2 días	ENERGÍA PRODUCIDA POR PANELES MES (kWh)	ENERGÍA ENTREGADA NETA (PERDIDAS 15%)	PRECIO (kWh/USD)	TOTAL (USD)
Enero	4,409	31	136,679	10045,91	8539,02	0,4003	3418,17
Febrero	4,512	28	126,336	9285,70	7892,84	0,4003	3159,50
Marzo	4,523	31	140,213	10305,66	8759,81	0,4003	3506,55
Abril	4,333	30	129,99	9554,27	8121,13	0,4003	3250,89
Mayo	4,058	31	125,798	9246,15	7859,23	0,4003	3146,05
Junio	3,890	30	116,7	8577,45	7290,83	0,4003	2918,52
Julio	3,958	31	122,698	9018,30	7665,56	0,4003	3068,52
Agosto	4,194	31	130,014	9556,03	8122,62	0,4003	3251,49
Septiembre	4,435	30	133,05	9779,18	8312,30	0,4003	3327,41
Octubre	4,493	31	139,283	10237,30	8701,71	0,4003	3483,29
Noviembre	4,421	30	132,63	9748,31	8286,06	0,4003	3316,91
Diciembre	4,361	31	135,191	9936,54	8446,06	0,4003	3380,96
		365		115290,78	97997,16		39228,26

En el cálculo de la producción energética se basó en un arreglo de 294 módulos fotovoltaicos con una potencia cada uno de 250 Wp.

Tabla 4.5: Presupuesto del Sistema Fotovoltaico.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UND. (USD)	TOTAL
1	Módulos Fotovoltaicos	294	\$ 370,00	\$ 108.780,00
2	Inversor	7	\$ 3.980,00	\$ 27.860,00
3	Contador Energía	1	\$ 500,00	\$ 500,00
4	Sistema Montaje	294	\$ 100,00	\$ 29.400,00
5	Instalación	1	\$ 3.000,00	\$ 3.000,00
6	Supervisión	1	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
7	Varios	1	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
			TOTAL =	\$ 173.040,00

4.1.2 Movimientos de flujo del capital del sistema fotovoltaico.

Para realizar el análisis de los movimientos de flujo del capital de nuestro sistema debemos considerar los años de vida útil de esta clase de proyectos para nuestro caso se considerará de 15 a 20 años, en los cuales por mantenimiento se considera que a los 5 años se debería cambiar al menos 2 módulos fotovoltaicos y a los 10 años un inversor, se incluye el costo por venta total de la energía producida, el valor que se cancela por el consumo de energía eléctrica indicado en la planilla entregada por la distribuidora de energía local, los costos de operación y mantenimiento que contemplan visitas inspecciones periódicas al sistemas cambio de módulos fotovoltaicos, inversores entre otros, el precio del kWh establecido en el mercado, los ingresos egresos del proyecto. Estos valores se los indica en la tabla 4.6 [60].

Tabla 4.6: *Movimiento de Flujo del Capital.*

AÑOS	VENTA DE ENERGIA TOTAL PRODUCIDA (kWh)	PAGO PLANILLA DE ENERGIA ELECTRICA	COSTOS O&M	PRECIO (USD) kWh	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO DE CAJA
0							-173040
1	97997,16	14600	250	0,40	39198,864	14850	24348,864
2	97997,16	14300	250	0,40	39198,864	14550	24648,864
3	97997,16	14000	250	0,40	39198,864	14250	24948,864
4	97997,16	13700	250	0,40	39198,864	13950	25248,864
5	97997,16	13400	1200	0,40	39198,864	14600	24598,864
6	97997,16	13100	250	0,40	39198,864	13350	25848,864
7	97997,16	12800	250	0,40	39198,864	13050	26148,864
8	97997,16	12500	250	0,40	39198,864	12750	26448,864
9	97997,16	12200	250	0,40	39198,864	12450	26748,864
10	97997,16	11900	5500	0,40	39198,864	17400	21798,864
11	97997,16	11600	250	0,40	39198,864	11850	27348,864
12	97997,16	11300	250	0,40	39198,864	11550	27648,864
13	97997,16	11000	250	0,40	39198,864	11250	27948,864
14	97997,16	10700	250	0,40	39198,864	10950	28248,864
15	97997,16	10400	1200	0,40	39198,864	11600	27598,864
16	97997,16	10100	250	0,15	14699,574	10350	4349,574
17	97997,16	9800	250	0,15	14699,574	10050	4649,574
18	97997,16	9500	250	0,15	14699,574	9750	4949,574
19	97997,16	9200	250	0,15	14699,574	9450	5249,574
20	97997,16	8900	250	0,15	14699,574	9150	5549,574

4.1.3 Relación costo beneficio.

La relación costo benéfico es utilizada con la finalidad de calcular el rendimiento obtenido por cada dólar invertido, ayuda a optar por la viabilidad del proyecto dependiendo los siguientes razonamientos [66]:

- $B/C > 1$ implica que los ingresos son mayores que los egresos, entonces el proyecto es factible.
- $B/C = 1$ implica que los ingresos son iguales que los egresos, entonces el proyecto es indiferente, lo que queda a criterios del o los inversionistas.
- $B/C < 1$ implica que los ingresos son menores que los egresos, entonces el proyecto es no es factible.

Esta relación se considera el valor presente de los ingresos y el valor presente de los egresos, ecuación 4.11.

$$B/C = \frac{\text{Valor presente de los ingresos}}{\text{Valor presente de los egresos}} \quad (4.11)$$

El valor obtenido para este proyecto es de 1,12 relación costo beneficio, significa que por cada dólar que se invierte el proyecto retorna \$1,12, por lo que se tendría \$0,12 de utilidad.

4.1.4 Cálculo del valor presente o actual neto (VAN).

El valor presente o conocido también como valor actual neto consiste en determinar el valor presente de los flujos de costos e ingresos de la vida útil del proyecto a ser implementado, si el resultado del VAN es positivo se debe realizar la inversión, si el VAN es igual a cero la decisión de ejecutar el proyecto queda a criterio del inversionista y si el VAN es negativo la inversión no se debe realizar [67] [66].

Para realizar el cálculo del valor actual neto se utiliza la siguiente ecuación:

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{F_n}{(1+r)^n} \quad (4.9)$$

Donde:

I_0 = Inversión inicial

F_n = Flujo de efectivo

r = Tasa de interés

n = Número de años

En este proyecto la inversión inicial será el presupuesto del sistema a implementar, la tasa de interés fijada por el banco central para inversiones corporativas es del 7,31% anual con una tasa máxima de 9,33% [68].

El VAN para este proyecto es de \$ 63.078,21.

4.1.5 Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR).

La tasa interna de retorno representa la tasa más alta de interés que se podría pagar por un préstamo que financiara la inversión del proyecto, de igual forma es la tasa de rendimiento que brinda el proyecto sobre la inversión a realizar. Si el TIR es mayor que el costo de capital el proyecto es aprobado, si el TIR es igual al costo de capital la inversión queda a criterio del o los inversionistas y si el TIR es menor el proyecto no se lo debe realizar [67][66].

Para realizar este cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$TIR = \sum_{n=0}^N \frac{F_n}{(1+r)^n} = 0 \quad (4.10)$$

Donde:

F_n = Flujo de efectivo

r = Tasa de interés

n = Número de años

El TIR para este proyecto es de 12%.

CONCLUSIONES

- Las principales fuentes de generación energía eléctrica en el Ecuador son hídricas y térmicas, estas últimas generan algún tipo de contaminación ambiental, como las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) que son generadas por las centrales eléctricas que queman algún tipo de combustible, por esta razón el Ecuador y como el resto del mundo se encuentra en la búsqueda de fuentes de generación de energía eléctrica usando energías renovables no convencionales, por ello se señala a la energía fotovoltaica como la mejor alternativa para generar electricidad.
- Favorablemente el Ecuador es un país privilegiado con su diversidad topográfica lo que promueve y avala la ejecución de proyectos fotovoltaicos los cuales su principal característica es la utilización del recurso solar el cual es inagotable, tienen un mínimo costo de operación, no producen emisiones contaminantes para el ambiente, un bajo impacto visual.
- A pesar de las condiciones favorables que tiene el Ecuador para implementar sistemas fotovoltaicos no existe una normativa o reglamento para el diseño y construcción de estos proyectos, por tal razón la mayoría de constructores se basan en normas internacionales para el desarrollo de estos proyectos.
- La radiación solar va a depender de factores como la latitud, nubosidad, humedad y claridad atmosférica, por ello se debe analizar el sitio y así aprovechar en su totalidad el recurso solar.
- La selección de los módulos fotovoltaicos se considera la eficiencia y la potencia pico ya que a mayor potencia su eficiencia es mayor y por ende menor número de módulos a ser instalados y área a utilizar.
- Los inversores deben proporcionar la potencia requerida en el sistema, considerando que todas las cargas se encuentren conectadas, estos elementos requieren mayores exigencias como estabilidad en la tensión de salida, bajo nivel de distorsión armónica por ello es fundamental elegir un equipo de acuerdo a las características del sistema.
- El estudio realizado permite la creación de un sistema fotovoltaico de generación de energía eléctrica para instituciones educativas, que permite cubrir la demanda de iluminación tanto en el día como en la noche.

- El estado ecuatoriano promueva la implementación, investigación, producción de sistemas que utilicen energías renovables tales como solar, eólica, biomasa entre otras con la exoneración en el pago de aranceles e impuestos adicionales que afecten con el desarrollo de estos proyectos, también exonera del pago de impuestos sobre la renta durante cinco años.
- Con el análisis realizado para las emisiones de gases de efecto invernadero con una potencia de 74 kW requerida para satisfacer la demanda de la institución educativa si se emplearía una central térmica para esta potencia se emitiría 326748.28 toneladas al año de CO₂.
- Al implementar sistemas fotovoltaicos el impacto social es muy apreciable ya que los beneficios principalmente en zonas aisladas influyen en lo laboral al poder aumentar la jornada laboral y por ende la productividad, en el entorno familiar al mejorar la calidad de vida de las familias beneficiarias.
- El costo para implementar estos sistemas es elevado pero a largo tiempo resulta una buena inversión ya que su vida útil es de 20 a 25 años, permitiría una disminución en el costo de la planilla de consumo de energía ya que la energía consumida por la distribuidora de energía sería mucho menor.
- Este tipo de proyectos pueden tener un beneficio adicional el cual es la venta de energía eléctrica cuando la generación fotovoltaica es mayor en sus horas pico de radiación solar.

RECOMENDACIONES

- Ante el dimensionamiento de los módulos fotovoltaicos se debe diseñar y calcular el mejor arreglo para tanto en serie como en paralelo permita cubrir con la demanda requerida y el área disponible para la colocación de los mismos, adicionalmente se considerara la distancia de separación entre cada panel y poder obtener la mejor captación del recurso solar.
- Es recomendable realizar una cuantificación de todas las cargas instaladas para así establecer la potencia que el sistema fotovoltaico requerirá y realizar el diseño con parámetros y equipos dimensionados adecuadamente
- Algo muy importante son el dimensionar correctamente las protecciones del sistema tanto para el lado de corriente continua como para el lado de corriente alterna y así evitar daños a los equipos, de igual forma asegurar la calidad del servicio.
- Incentivar la implementación de sistemas de generación con energías renovables permitiendo así la reducción de gases contaminantes para el medio ambiente.
- Incitar a otras instituciones educativas al implementar sistemas fotovoltaicos tomando como modelo experimental esta investigación realizada la cual muestra todos los beneficios técnicos y económicos que componen este tipo de proyectos.
- Generar un reglamento o regulación propia del país que permita tener una guía para el diseño y construcción de sistemas de generación fotovoltaica.
- Actualizar el precio de sistemas fotovoltaicos con relación a la paridad mundial y por ende a la tecnología que cada vez es mayor.
- Capacitar a la sociedad tanto en la ciudad y principalmente en las zonas aisladas que sea beneficiaria de estos proyectos para la correcta utilidad de estos sistemas.
- Se debería crear una figura financiera que permita garantizar la inversión para estos proyectos, con ello asegurar la recuperación de la inversión y rentabilidad del proyecto.

ANEXOS

ANEXO A

**PROYECTOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
FOTOVOLTAICOS CON CAPACIDAD MAYOR A 1 MW.**

No.	Empresa Gestora	Proyecto	Tipo de Proyecto	Capacidad MW	CIUDAD
1	COSTANERA SOLAR COSSOLAR S.A.	LAS QUEMAZONBS	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
2	ARRAYASOLAR S.A.	MACHALA	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
3	ENERSIERRA S.A.	COCHASQUÍ	FOTOVOLTAICO	0,980	Quito
4	ENEGELISA S.A.	MALCHINGUÍ	FOTOVOLTAICO	0,999	Quito
5	GRANSOLAR S.A.	TREN DE SALINAS	FOTOVOLTAICO	0,995	Pedro Moncayo
6	ENERSOL S.A.	ENERSOL PREDIO 1	FOTOVOLTAICO	0,500	Manta
7	ENERSOL S.A.	ENERSOL JARAMIJ	FOTOVOLTAICO	0,997	Manta
8	ALTGENOTEC S.A.	ALTGENOTEC	FOTOVOLTAICO	0,994	Guayaquil
9	GENRENOTEC S.A.	GENRENOTEC	FOTOVOLTAICO	0,994	Guayaquil
10	ENERSOL S.A.	ENERSOL MANTA	FOTOVOLTAICO	0,997	Manta
11	RENOVERGY S.A.	HñROES DEL CENEP	FOTOVOLTAICO	0,995	Santo Domingo de los Tsñchilas
12	SOLHUAQUI S.A.	SOLHUAQUI	FOTOVOLTAICO	0,999	Machala
13	SOLSANTROS S.A.	SOLSANTROS	FOTOVOLTAICO	0,999	Machala
14	SABIANGO SOLAR S.A.	SABIANGO SOLAR	FOTOVOLTAICO	0,999	Loja
15	SARACAYSOL S.A.	SARACAYSOL	FOTOVOLTAICO	0,999	Machala
16	GONZAENERGY S.A.	GONZAENERGY	FOTOVOLTAICO	0,999	Loja
17	SANERSOL S.A.	SANERSOL	FOTOVOLTAICO	0,999	Machala
18	RENERGY S.A.	SALVADOR 1	FOTOVOLTAICO	0,998	Machachi
19	RENERGY S.A.	SALVADOR 2	FOTOVOLTAICO	0,998	Machachi
20	ENERSOL S.A.	ROCAFUERTE	FOTOVOLTAICO	0,997	Manta
21	CELLENERGY S.A.	PIMñ CHIQUITO-SAGRARIO	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
22	PALLENERGY S.A.	TUMBATñ-PUSIR	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
23	CELLENERGY S.A.	TUMBATñ BOLIVAR	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
24	LUPENERGY S.A.	LORENA	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
25	AUSTRAL SOLAR AUSSOLAR S.A.	EL ORO	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
26	GUJOMA SOLAR S.A.	CABO MINACHO	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito

27	AUROSOS.A.	AURORA	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
28	EPFOTOVOLTAICA	SUNCO MULALI	FOTOVOLTAICO	0,997	Latacunga
29	ECOGEN S.A.	HUAQUILLAS	FOTOVOLTAICO	0,995	Santo Domingo de los Tsõchilas
30	GENROC S.A.	CHACRAS	FOTOVOLTAICO	0,995	Santo Domingo de los Tsõchilas
31	LA LIBERTAD SOLAR S.A.	SANTA ELENA	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
32	VALSOLAR S.A.	MALCHINGUI	FOTOVOLTAICO	0,995	Ibarra
33	GREENWATT Csa. Ltda.	PINGUNCHUELA	FOTOVOLTAICO	0,995	Salinas/Imbabura
34	AURORA SOLAR AUROSOS.A.	EDELMIRA	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
35	GENERLOJ S.A.	SANTA ROSA	FOTOVOLTAICO	0,995	Santo Domingo de los Tsõchilas
36	LOJAENERGY S.A.	LOJAENERGY	FOTOVOLTAICO	0,999	Loja
37	SURENERGY S.A.	SURENERGY	FOTOVOLTAICO	0,999	Loja
38	VALSOLAR S.A.	PARAGACHI	FOTOVOLTAICO	0,995	Ibarra
39	VALSOLAR S.A.	ESCOBAR	FOTOVOLTAICO	0,960	Ibarra
40	CHOTASOLAR S.A.	CHOTASOLAR	FOTOVOLTAICO	0,999	Ibarra
41	IMBASOLAR S.A.	IMBASOLAR	FOTOVOLTAICO	0,999	Ibarra
42	AUTICON	ATAHUALPA	FOTOVOLTAICO	1,000	Guayaquil
43	SEDOFOCORP	CHANDUY	FOTOVOLTAICO	1,000	Guayaquil
44	FIDATOLEH S.A.	EL AZUCAR	FOTOVOLTAICO	1,000	Guayaquil
45	RENOENERGY	RENOENERGY	FOTOVOLTAICO	0,700	Loja
46	PROSOLAR LOJA	PROSOLAR LOJA	FOTOVOLTAICO	0,900	Loja
47	GENALTERNATIVA	EL ALAMO	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
48	BIOMASGEN S.A.	SANTA ANA	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
49	EPFOTOVOLTAICA	PASTOCALLE	FOTOVOLTAICO	0,995	Latacunga
50	BRINEFORCORP S.A.	BRINEFORCORP S.A.	FOTOVOLTAICO	0,990	Guayaquil
51	EMETRIPLUS S.A.	SAN ISIDRO	FOTOVOLTAICO	0,650	Guayaquil
52	SAN MIGUEL S.A.	SAN MIGUEL	FOTOVOLTAICO	0,995	Manta
53	GENELGUAYAS EP	GENELGUAYAS EP	FOTOVOLTAICO	0,990	Guayaquil
54	GENMACHALILA GENERACION S.A.	ROCIO	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito

55	GENERAMBIENT GENERACI3N RENOVABLE	ROSARIO	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
56	ARENIGENERACI3N S.A.	EL TAMBO	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
57	PAFECHIF GENERACI3N S.A.	LA GUAJIRA	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
58	GENERACI3N SOLAR ANDINA GENSOLAN S	SANTA M3NICA	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
59	OROSOLGEN S.A.	LA LIBERTAD	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
60	MACHAGEN S.A.	PAQUISHA	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
61	GENERACI3N RENOVABLE RENOGENEC S.A	EL PORVENIR	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
62	GENERACI3N RENOVABLE GENRENOVA S.A	SANTA ANA	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
63	ESPONERGY GENERACI3N S.A.	ISABELITA	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
64	SOLCHACRAS S.A.	SOLCHACRAS	FOTOVOLTAICO	0,995	Machala
65	SAN PEDRO SOLAR ENERGY S.A.	SAN PEDRO	FOTOVOLTAICO	0,995	Loja
66	SOL SANTONIO S.A.	SOLSANTONIO	FOTOVOLTAICO	0,995	Machala
67	MEDIABONENERGY S.A.	TUMBAT3	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
68	MEDIABONENERGY S.A.	PIM3N CHIQUITO	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
69	PALLEENERGY S.A.	PIM3N CHIQUITO AMBUQU3	FOTOVOLTAICO	0,995	Quito
70	EOLIGENER S.A	EL JARD3N	FOTOVOLTAICO	0,995	Santo Domingo de los Ts3chilas
71	CHIRGERENO S.A	LA LUZ	FOTOVOLTAICO	0,995	Santo Domingo de los Ts3chilas
72	RENOVALOJA S.A	RENOVALOJA	FOTOVOLTAICO	0,995	Loja
73	ELECTRISOL S.A	ELECTRISOL	FOTOVOLTAICO	0,995	Tabacundo
74	WILDTECSA S.A.	VILDTECSA	FOTOVOLTAICO	0,995	Guayaquil
75	SANSAU S.A.	SANSAU	FOTOVOLTAICO	0,995	Guayaquil
76	PHOENIX ENERGY S.A.	EOS	FOTOVOLTAICO	0,081	Quito
TOTAL CAPACIDAD PROYECTOS MENORES 1 MW				73,4862	

ANEXO B

**GENERADORAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA FOTOVOLTAICA CON
CAPACIDAD MENOR A 1 MW.**

No.	Empresa Gestora	Proyecto	Tipo de Proyecto	Capacidad MW	Ubicación
1	HIDROLITORAL EP	BABA	HIDROELÉCTRICO	42,00	Cantón Baba, provincia de Los Ríos
2	HIDROVICTORIA S.A.	VICTORIA	HIDROELÉCTRICO	10,00	Cantón Quijos, provincia del Napo
3	HIDROTAMBO S.A.	SAN JOSÉ DEL TAMBO	HIDROELÉCTRICO	8,00	Cantón Chillanes, provincia de Bolívar
4	HIDROELÉCTRICA SAN JOSÉ DE MINAS S.A.	SAN JOSÉ DE MINAS	HIDROELÉCTRICO	6,00	Cantón Quito, provincia de Pichincha
5	TRIOLO S.A.	SIGCHOS	HIDROELÉCTRICO	17,40	Cantón Sigchos, provincia de Cotopaxi
6	HIDROSANBARTOLO S.A.	SAN BARTOLO	HIDROELÉCTRICO	48,07	Cantón Santiago, provincia de Morona Santiago
7	HIDROSIERRA S.A.	RÍO VERDE	HIDROELÉCTRICO	10,00	Cantón Baños, provincia de Tungurahua
8	ENERGYDINHE S.A.	RÍO LUIS	HIDROELÉCTRICO	15,50	Cantón Portovelo, provincia de El Oro
9	HIDROALTO S.A.	DUE	HIDROELÉCTRICO	49,71	Cantón Gonzalo Pizarro, Sucumbíos
10	HIDRELGEN S.A.	SABANILLA	HIDROELÉCTRICO	30,00	Cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe
11	ELECAUSTRO S.A.	OCAÑA	HIDROELÉCTRICO	26,00	Cantón Cañar, provincia del Cañar
12	ELECAUSTRO S.A.	SAYMIRIN V	HIDROELÉCTRICO	7,40	Cantón Cuenca, provincia del Azuay
TOTAL CAPACIDAD PROYECTOS MENORES 1 MW				270,08	

ANEXO C

Con la siguiente programación se puede obtener el comportamiento anual de la radiación solar extraterrestre descrito en el subcapítulo 3.1.1, con la ecuación 1.1 y la figura 2.2.

```
% Radiación Extraterrestre Anual
clc;
clear all; close all;
Gsc=1367; % Constante Solar
n=1:1:365; % Días del año
Gon=Gsc*(1+(0.033*cos((360*n/365)*pi/180)));
% Gráfica
plot(n,Gon,'color',[0 1 0]);
xlabel('día del año');
ylabel('Gon= (W/m^2)');
legend('Radiación Extraterrestre Anual','location','northwest');
grid on;
```

ANEXO D

Con la siguiente programación se puede obtener el comportamiento mensual de la irradiación solar extraterrestre sobre una superficie inclinada descrito en el subcapítulo 3.1.3, con la ecuación 1.2 y la figura 2.3.

```
% Irradiación Mensual
GDM=[4.31,4.46,4.52,4.39,4.16,4.01,4.07,4.27,4.44,4.45,4.33,4.25];% Datos Promedio Mensual Radiación Global Directa
B=[0.0056,0.0033,0.0004,-0.0027,-0.0056,-0.0072,-0.0065,-0.0039,0.0007,0.0024,0.0051,0.0064]; % coeficiente B
A=0.999 % coeficiente A
for i=1:12
    a1(1,i)=A*GDM(1,i)+B(1,i)*GDM(1,i)^2;
end
% Gráfica
x=1:1:12;
plot(x,a1,'-o');
grid on
xlabel('Meses del año');
ylabel('Gdm= (kWh/m^2)');
legend('Irradiación Mensual','location','northwest');
```

ANEXO E

Datos de la secretaria del ambiente diarios de radiación solar del mes de junio 2014.

Secretaria del Ambiente	
Lecturas diarias Radiación Solar - (W/m2)	
Desde el 01/06/2014 al 30/06/2014	
Fecha	Cotocollao
01/06/2014	159,89
02/06/2014	210,23
03/06/2014	221,64
04/06/2014	192,21
05/06/2014	141,01
06/06/2014	154,72
07/06/2014	198,43
08/06/2014	243,03
09/06/2014	166,76
10/06/2014	175,89
11/06/2014	174,81
12/06/2014	254,98
13/06/2014	190,27
14/06/2014	189,15
15/06/2014	231,28
16/06/2014	317,6
17/06/2014	284,91
18/06/2014	242,72
19/06/2014	255,52
20/06/2014	266,83
21/06/2014	219,69
22/06/2014	236,59
23/06/2014	165,01
24/06/2014	161,53
25/06/2014	259,64
26/06/2014	237,74
27/06/2014	206,06
28/06/2014	243,23
29/06/2014	209,81
30/06/2014	239,17

ANEXO F

Con la siguiente programación se puede obtener el comportamiento diario de irradiación solar extraterrestre sobre una superficie inclinada para el mes de junio descrito en el subcapítulo 3.1.3.1, con la ecuación 1.2 y la figura 2.4

```
% Irradiación Diaria Para el Mes de Junio
A=0.999; % coeficiente A
B=0.0072; % coeficiente B en el mes de Junio
GDM=[159.89,210.23,221.64,192.21,141.01,154.72,198.43,243
.03,166.76,175.89,174.81,254.98,190.27,189.15,231.28,317.
6,284.91,255.52,266.83,219.69,236.59,165.01,161.53,259.64
,237.74,206.06,243.23,209.81,239.17]; % Valores diarios
de Radiación Solar para el mes de Junio del 2014
for i=1:29
    M(1,i)=A*GDM(1,i)+B*GDM(1,i)^2;
end
% Gráfica
x=1:1:29;
plot(x,M,'-o')
grid on
xlabel('Días Mes de Junio');
ylabel('Gdm(+5) °= (W/m^2)');
legend('Irradiación Solar Diaria Mes
Junio','location','northwest');
```

ANEXO G

LEVANTAMIENTO DE LAS LUMINARIAS EXISTENTES EN EL ÁREA DE MECÁNICA

LEVANTAMIENTO DE CARGAS (ILUMINACIÓN)						
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA						
EDIF. PRINCIPAL CAMPUS KENNEDY						
Lugar: MECÁNICA				FECHA: 19/12/2014		
Nº	CANTIDAD	UBICACIÓN	TIPO	VOLTAJE (V)	POTENCIA (W)	AULA / SALÓN
1	6	Planta Baja	5	120	576,00	Sala de Profesores
2	2	Planta Baja	1	120	160,00	Pastoral Juvenil
3	2	Planta Baja	1	120	160,00	Sala de Audiovisuales
4	2	Planta Baja	4	120	256,00	Sala de Audiovisuales
5	4	Planta Baja	2	120	480,00	Aula
6	2	Planta Baja	1	120	160,00	Aula
7	3	Planta Baja	1	120	240,00	Oficina Mecánica
8	1	Planta Baja	1	120	80,00	Vestidores
9	18	Planta Baja	1	120	1440,00	Bodega Matriceria
10	6	Planta Baja	3	120	240,00	Bodega Matriceria
11	48	Planta Baja	1	120	3840,00	Fresado, Torno, Ajuste
12	48	Planta Baja	2	120	5760,00	Fresado, Torno, Ajuste
13	12	Planta Baja	2	120	1440,00	Producción y Matriceria
14	7	Planta Baja	1	120	560,00	Pasillos
15	3	Planta Baja	1	120	240,00	Bodega Herramientas
16	4	Planta Baja	2	120	480,00	Oficinas
17	1	Planta Baja	1	120	80,00	Inspección
18	13	Planta Baja	1	120	1040,00	Medico, Oficinas
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
POTENCIA TOTAL =					17232,00	
OBSERVACIONES:						
TIPO 1: LAMPARA FLOURESCENTE 2X40W						
TIPO 2: LAMPARA FLOURESCENTE 3X40W						
TIPO 3: LAMPARA FLOURESCENTE 1X40W						
TIPO 4: LAMPARA FLOURESCENTE 4X32W						
TIPO 5: LAMPARA FLOURESCENTE 3X32W						

ANEXO H

**LEVANTAMIENTO DE LAS LUMINARIAS EXISTENTES EN EL ÁREA DE
ELÉCTRICA**

LEVANTAMIENTO DE CARGAS (ILUMINACIÓN)						
UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA						
EDIF. PRINCIPAL CAMPUS KENNEDY						
Lugar: ELECTRICA				FECHA: 19/12/2014		
Nº	CANTIDAD	UBICACIÓN	TIPO	VOLTAJE (V)	POTENCIA (W)	AULA / SALÓN
1	4	Planta Baja	1	120	320,00	Pastoral Juvenil
2	4	Planta Baja	1	120	320,00	Sala de Sesiones
3	2	Planta Baja	1	120	160,00	Baños Mujeres
4	5	Planta Baja	1	120	400,00	Baños Hombres
5	1	Planta Baja	1	120	80,00	Baño
6	5	Planta Baja	2	120	600,00	Oficinas
7	10	Planta Baja	2	120	1200,00	Aulas Pasillo
8	8	Planta Baja	2	120	960,00	Salón Don Bosco
9	6	Planta Baja	1	120	480,00	Pasillos
10	9	Planta Baja	1	120	720,00	Pasillos Laboratorios
11	9	Planta Baja	2	120	1080,00	Pasillos Laboratorios
12	2	Planta Baja	4	120	256,00	Oficina Electricidad
13	4	Planta Baja	3	120	384,00	Oficinas Soporte Técnico
14	1	Planta Baja	1	120	80,00	Oficinas Soporte Técnico
15	2	Planta Baja	4	120	256,00	Oficina Laboratorio
16	10	Planta Baja	5	120	510,00	Soporte Técnico
17	6	Planta Baja	1	120	480,00	Lab. Instalaciones Industriales
18	1	Planta Baja	2	120	120,00	Lab. Instalaciones Industriales
19	8	Planta Baja	1	120	640,00	Lab. Instalaciones Civiles
20	8	Planta Baja	1	120	640,00	Lab. Electromagnetismo
21	10	Planta Baja	1	120	800,00	Lab. Circuitos Electricos
22	10	Planta Baja	1	120	800,00	Lab. SEP
23	14	Planta Baja	2	120	1680,00	Investigación y Proyectos
24	8	Planta Baja	2	120	960,00	Lab. Control y Procesos
25	10	Planta Baja	1	120	800,00	Lab. Automatización y Comunicaciones
26	36	Planta Baja	6	120	2160,00	Lab. Microbótica
27	10	Planta Baja	1	120	800,00	Lab. Control y Monitoreo Automatización Industrial
28	10	Planta Baja	1	120	800,00	Lab. Máquinas Electricas
29	14	Planta Baja	2	120	1680,00	Lab. Alta Tensión
30	12	Planta Baja	2	120	1440,00	Lab. Electronica Analogica y Digital
31						
32						
POTENCIA TOTAL =					21606,00	
OBSERVACIONES:						
TIPO 1: LAMPARA FLOURESCENTE 2X40W						
TIPO 2: LAMPARA FLOURESCENTE 3X40W						
TIPO 3: LAMPARA FLOURESCENTE 3X32W						
TIPO 4: LAMPARA FLOURESCENTE 4X32W						
TIPO 5: LAMPARA FLOURESCENTE 3X17W						
TIPO 6: FOCO INCANDESCENTE 60W						

ANEXO I

**LEVANTAMIENTO DE LAS LUMINARIAS EXISTENTES EN EL ÁREA DE
ALTILLOS MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

ANEXO J

**LEVANTAMIENTO DE LAS LUMINARIAS EXISTENTES EN EL ÁREA DEL
SEGUNDO PISO**

LEVANTAMIENTO DE CARGAS (ILUMINACIÓN)						
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA						
EDIF. PRINCIPAL CAMPUS KENNEDY						
Lugar: SEGUNDO PISO				FECHA: 19/12/2014		
Nº	CANTIDAD	UBICACIÓN	TIPO	VOLTAJE (V)	POTENCIA (W)	AULA / SALÓN
1	6	Segundo Piso	1	120	480,00	Lab. Informática 1
2	1	Segundo Piso	3	120	40,00	Lab. Informática 1
3	4	Segundo Piso	1	120	320,00	Lab. Informática 2
4	4	Segundo Piso	1	120	320,00	Lab. Informática 3
5	4	Segundo Piso	1	120	320,00	Lab. Informática 4
6	8	Segundo Piso	1	120	640,00	Lab. Informática 5
7	4	Segundo Piso	1	120	320,00	Lab. Informática 6
8	3	Segundo Piso	4	120	288,00	Inspección
9	5	Segundo Piso	2	120	600,00	Lab. Fluidos
10	5	Segundo Piso	2	120	600,00	Lab. Transformación Calor
11	4	Segundo Piso	2	120	480,00	Lab. Termodinámica
12	1	Segundo Piso	1	120	80,00	Formación de Seglares
13	1	Segundo Piso	1	120	80,00	Baños
14	6	Segundo Piso	2	120	720,00	Aula A-1
15	6	Segundo Piso	2	120	720,00	Aula A-2
16	6	Segundo Piso	2	120	720,00	Aula A-3
17	6	Segundo Piso	2	120	720,00	Aula A-4
18	6	Segundo Piso	2	120	720,00	Aula A-5
19	4	Segundo Piso	2	120	480,00	Aula A-6
20	4	Segundo Piso	2	120	480,00	Aula A-7
21	4	Segundo Piso	2	120	480,00	Aula A-8
22	4	Segundo Piso	2	120	480,00	Aula A-9
23	4	Segundo Piso	1	120	320,00	Bodegas
24	4	Segundo Piso	2	120	480,00	Lab. Química
25	4	Segundo Piso	2	120	480,00	Lab. Física
26	17	Segundo Piso	1	120	1360,00	Pasillos
27	5	Segundo Piso	2	120	600,00	Pasillos
28	12	Segundo Piso	4	120	1152,00	Salon de Juegos
29	4	Segundo Piso	5	120	112,00	Salon de Juegos
30						
31						
32						
POTENCIA TOTAL =					14592,00	
OBSERVACIONES:						
TIPO 1: LAMPARA FLOURESCENTE 2X40W						
TIPO 2: LAMPARA FLOURESCENTE 3X40W						
TIPO 3: LAMPARA FLOURESCENTE 1X40W						
TIPO 4: LAMPARA FLOURESCENTE 3X32W						
TIPO 5: Foco Ahorrador 28W						

ANEXO K

**LEVANTAMIENTO DE LAS LUMINARIAS EXISTENTES EN EL ÁREA DEL
TERCER PISO**

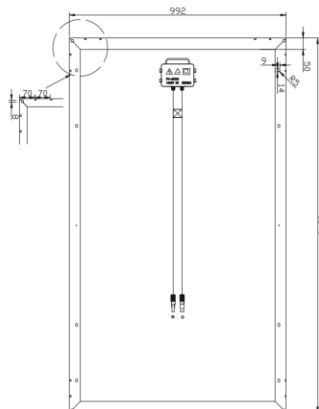
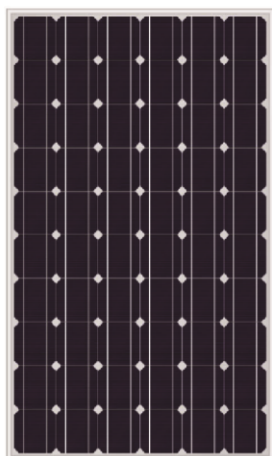
ANEXO L

FICHA TÉCNICA MÓDULO FOTOVOLTAICO SIMAX



Specification | Photovoltaic Module

SIMAX 156 Solarmodule (SM660-23 W-240W-250W)30



Mechanical Characteristics

Solar Cell	Monocrystalline silicon 156x156(mm)
No. of Cells	60 (6 x 10)
Dimensions	1640 x 992 x 40 / 50 (mm)
Weight	19.1 kg
Front Glass	3.2mm (0.13 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy

Output

Cable Type	$\varnothing = 4 \text{ mm}^2$
Lengths	L = 900 mm
Junction Box	PV - JB003 MC4

Temperature Coefficients

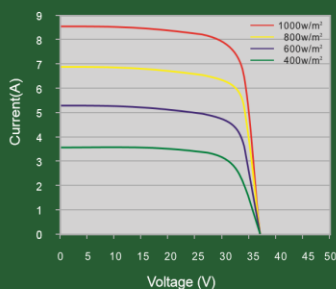
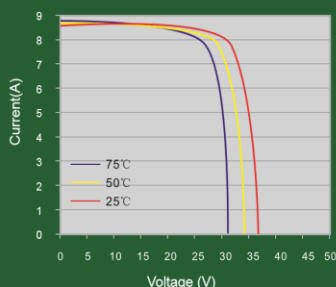
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	$45 \pm 2^\circ\text{C}$
Temperature Coefficient of (P_{max})	$-0.39\% / ^\circ\text{C}$
Temperature Coefficient of (V_{oc})	$-0.34\% / ^\circ\text{C}$
Temperature Coefficient of (I_{sc})	$0.036\% / ^\circ\text{C}$



Photon

Parameters	SM660-230	SM660-240	SM660-250
Peak power [Wp] P_{mpp}	230W	240W	250W
Power Tolerance	0~+3%	0~+3%	0~+3%
Module Efficiency (%)	14.8%	15.1%	15.3%
Open circuit voltage [V] V_{oc}	36.8	37.4	38.1
Maximum Power Voltage [V] (V_{mpp})	29.7	30.2	30.7
Maximum Power Current [A] (I_{mpp})	7.69	7.94	8.15
Short circuit Current [A] (I_{sc})	8.30	8.58	8.80

STC: Irradiance : 1000 W/m²; Spectrum AM 1,5; Cell temperature: 25°C; Wind 0 m/s



- Provide the best solutions for photovoltaic power generation and technical support
- Provide Cost-effective products
- Provide 12 Years Quality Warranty
- Power out $\geq 90\%$ in 10 years
- Power out $\geq 80\%$ in 25 years

Simax Green New Energy (Europa) GmbH
 Mergenthaler Allee 23 / 25
 65760 Eschborn / Germany
 Tel.: +49 6196 9739 525
 Fax: +49 6196 5929 684
 info@simaxsolar.com
 www.simaxsolar.de

Simax (Suzhou) Green New Energy Co., Ltd
 Address: No. 567 Suzhou Road, Taicang city,
 Jiangsu province, China
 P.C.: 215400
 Tel: +86 512 5337 8555
 Fax: +86 512 5337 8556
 info@simaxsolar.com
 www.simaxsolar.com

Simax (Australia) Green New Energy Pty Ltd
 5/78 Frankston Gardens Drive,
 Carrum Downs, VIC 3210
 Tel: +61 03 9708 2400
 Fax: +61 03 9708 2482
 info@simaxsolar.com
 www.simaxsolar.com.au

ANEXO M

FICHA TÉCNICA INVERSOR SUNNY BOY

Efficient

- > Maximum efficiency of 98 %
- > The best tracking efficiency with OptiTrac MPP tracking
- > OptiCool active temperature management
- > Transformerless, with H5 topology
- > Monitored string fuses

Safe

- > SMA Power Balancer for three-phase grid connection
- > Integrated ESS DC load disconnecting unit



SUNNY MINI

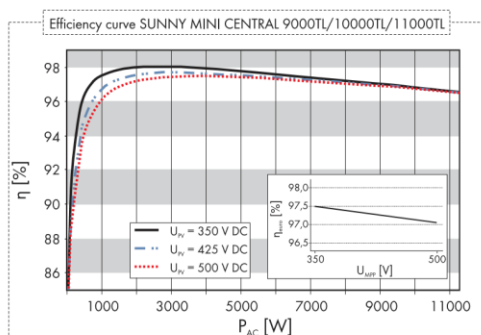
Precise system design for maximum yields

It has never been so easy to precisely plan mid-size and large solar plants. The Sunny Mini Central inverters from power classes nine to eleven kWp open up almost limitless possibilities in this respect. Whether dealing with mid-sized PV systems, 30 kW plants, or solar parks in the megawatt range: the devices fit perfectly into each and every plant concept of 27 kWp and above. Here, the combination of high efficiency and low specific price results in a short amortization time. In addition, the decentralized plant layout helps to keep maintenance costs low. SMA's Sunny Mini Central: state-of-the-art technology which pays off with every sunbeam.

Technical Data

SUNNY MINI CENTRAL 9000TL / 10000TL / 11000TL

	SMC 9000TL-10	SMC 10000TL-10	SMC 11000TL-10
Input (DC)			
Max. DC power	9300 W	10350 W	11400 W
Max. DC voltage	700 V	700 V	700 V
PV-voltage range, MPPT	333 V - 500 V	333 V - 500 V	333 V - 500 V
Max. input current	28 A	31 A	34 A
Number of MPP trackers	1	1	1
Max. number of strings (parallel)	5	5	5
Output (AC)			
Nominal AC power / max. AC power	9000 W / 9000 W	10000 W / 10000 W	11000 W / 11000 W
Max. output current	40 A	44 A	48 A
Nominal AC voltage / range	220 V - 240 V / 180 V - 260 V	220 V - 240 V / 180 V - 260 V	220 V - 240 V / 180 V - 260 V
AC grid frequency (self-adjusting) / range	50 Hz / 60 Hz / ± 4.5 Hz	50 Hz / 60 Hz / ± 4.5 Hz	50 Hz / 60 Hz / ± 4.5 Hz
Phase shift (cos φ)	1	1	1
AC connection / power balancing	single-phase / ●	single-phase / ●	single-phase / ●
Efficiency			
Max. efficiency / Euro-Eta	98.0 % / 97.6 %	98.0 % / 97.5 %	98.0 % / 97.5 %
Protection devices			
DC reverse polarity protection	●	●	●
ESS DC load-disconnecting switch	●	●	●
AC short-circuit protection	●	●	●
Ground fault monitoring	●	●	●
Monitored string fuses	○	○	○
Grid monitoring (SMA Grid Guard)	●	●	●
All-pole sensitive residual-current monitoring unit	●	●	●
General Data			
Dimensions (W / H / D) in mm	468 / 613 / 242	468 / 613 / 242	468 / 613 / 242
Weight	approx. 35 kg	approx. 35 kg	approx. 35 kg
Operating temperature range	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Noise emission (typical)	≤ 42 dB(A)	≤ 45 dB(A)	≤ 46 dB(A)
Consumption: operating (standby) / night	< 8 W / 0.15 W	< 8 W / 0.15 W	< 8 W / 0.15 W
Topology	transformerless	transformerless	transformerless
Cooling concept	OptiCool	OptiCool	OptiCool
Installation: Indoors / Outdoors (IP65 electronics)	●/●	●/●	●/●
Features			
DC connection: MC3 / MC4 / Tyco	○/●/○	○/●/○	○/●/○
AC connection: screw terminal	●	●	●
LCD	●	●	●
Interfaces: Bluetooth® / RS485	○/○	○/○	○/○
Warranty: 5 years / 10 years	●/○	●/○	●/○
Certificates and approvals	www.SMA.de	www.SMA.de	www.SMA.de
● Standard ○ Optional	Data at nominal conditions - Last update: March 2009		



Accessories



RS485 interface of type
485PB-NR



Bluetooth Piggy-Back



SMA Power Balancer
Y Cable PBL-YCABLE-10

ANEXO N

Con la siguiente programación se puede obtener las curvas de potencia generada, potencia de carga descrito en el subcapítulo 3.4, con la figura 3.14, adicional el modelo de gestión del sistema con las curvas de consumo fotovoltaico y consumo de la red distribuidora figuras 3.15, 3.16 y 3.17.

```
% Modelo de Gestión del Sistema Fotovoltaico
close all
clc
hold on
x=1:1:24;
y=[0;0;0;0;0;0;0;2.310;7.700;23.100;38.500;69.300;77.000;
77.000;69.300;53.900;38.500;23.100;0;0;0;0;0;0];
% Potencia Generada
plot(x,y, '-o')
y2=[3.600;3.600;3.600;3.600;3.600;3.600;7.400;51.500;44.1
17;36.765;36.765;36.765;36.765;36.765;29.411;22.058;22.05
8;44.117;58.822;69.852;69.852;69.852;22.058;3.600];
% Potencia de Carga
plot(x,y2, '-or');
grid on;
xlabel('Horas Día');
ylabel('Potencia (kW)');
legend('Potencia Generada','Potencia Carga');
% Potencia Vendida
% PV = Pot. Generada - Pot. Carga
if y>y2
PV= (y-y2);
else
end
subplot(2,2,1:2);
plot(x,PV, '-om');
grid on
% Potencia Red
% PR = Pot. Carga - Pot. Generada
if y<y2
PR= (y2-y);
else
end
subplot(2,2,3:4);
plot (x,PR, '-oy')
grid on
```

REFERENCIAS

- [1] S. Beres, *Recursos Energéticos Alrededor del mundo*. 2011, pp. 2–32.
- [2] L. Martínez, *FUENTES DE ENERGÍA PARA EL FUTURO*, Secretaría. España: Estilo Estugraf Impresores, 2008, pp. 55–61.
- [3] B. Paladini, “Recursos, Energía, Crecimiento Económico y Deuda,” Oct-2012. [Online]. Available: <http://menospetroleo.blogspot.com/2012/10/recursos-energia-crecimiento-economico.html>.
- [4] F. Rivera, *Análisis de Consumos Energéticos*, Primera. Chile, 2009, p. 13.
- [5] Q. Jose and E. González, “El futuro de los Combustibles Fósiles,” 2011.
- [6] International Energy Agency, “World Energy Outlook 2013,” *Agencia Internacional de Energía*, p. 7, Nov-2013.
- [7] Agencia Internacional de Energía, “Matriz Energética Mundial,” *World Energy Outlook 2011*, 2012. [Online]. Available: http://www.repsol.com/es_es/corporacion/conocer-repsol/contexto-energetico/matriz-energetica-mundial/.
- [8] José Roldán Vilorio, *Energías Renovables*, Primera ed. España, 2013, p. 18,156.
- [9] A. de L. Martínez, *Termotecnia Básica para Ingenieros Químicos*, Primera Ed. España, 2004, p. 107.
- [10] José Francisco Sanz Osorio, *Energía Hidroeléctrica*, Primera Ed. Zaragoza, España, 2008, pp. 31–41.
- [11] S. B. A. Xavier Elías Castells, *Energía, Agua, Medio Ambiente, Territorialidad y Sostenibilidad*, Primera. Madrid, 2012, pp. 685–692.
- [12] Urbano Sánchez Domínguez, *Máquinas Hidráulicas*, Primera. 2012, pp. 279–283.
- [13] E. Harper, *TECNOLOGÍA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA*. Mexico, 2011, pp. 1–388.
- [14] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, “Plan Estratégico Institucional 2014-2017,” pp. 1–83, 2014.
- [15] CONELEC, “Producción Anual,” 2014. [Online]. Available: http://www.conelec.gob.ec/enlaces_externos.php?l=1&cd_menu=4223.
- [16] Consejo Nacional de Electricidad, “Regulación No. CONELEC 004/11,” pp. 1–17, 2012.

- [17] M. P. Besalú, *Diccionario de Cartografía*, Primera. 2012, p. 85.
- [18] CONELEC, “Plan Maestro de Electrificación 2009-2020,” *Capítulo 6*, pp. 1–486.
- [19] Corporación para la Investigación Energética, “Atlas solar del Ecuador,” *CONELEC*, pp. 1–51, 2008.
- [20] E. S. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, “Programa EURO-SOLAR,” pp. 1–23, 2009.
- [21] C. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, “Plan Maestro Electrificación 2012-2021,” pp. 1–401, 2012.
- [22] CONELEC, “Proyectos de Energías Renovables No Convencionales,” *Proyectos Fotovoltaicos*. [Online]. Available: [www.conelec.gob.ec/.../doc_10167_Proyectos ERNC](http://www.conelec.gob.ec/.../doc_10167_Proyectos_ERNC).
- [23] Consejo Nacional de Electricidad, “Regulación No. CONELEC 002/13,” pp. 1–12, 2013.
- [24] G. Kibrya, V. Tiangco, P. Sethi, H. Mohammad, and E. Sison-Lebrilla, “OPPORTUNITIES AND CHALLENGES OF DEVELOPING SOLAR RESOURCES IN CALIFORNIA,” pp. 2454–2468, 2006.
- [25] G. S. California, “Historia de Go Solar California,” *Comisión de Energía de California*. [Online]. Available: <http://www.gosolarcalifornia.ca.gov/about/gosolar/history.php>.
- [26] G. S. California, “Los Incentivos de la Iniciativa Solar de California,” *Comisión de Energía de California*. [Online]. Available: http://www.gosolarcalifornia.ca.gov/solar_basics/pricing_financing.php.
- [27] G. S. California, “Asociación de Hogares Nuevo Solar,” *Comisión de Energía de California*. [Online]. Available: <http://www.gosolarcalifornia.ca.gov/about/nsdp.php>.
- [28] F. Cueva and P. Ramirez, “Regulación Internacional Sobre Producción de Electricidad Mediante Paneles Fotovoltaicos,” Pontificia Universidad Católica de Chile, 2009.
- [29] I. C. Díaz, “El Mercado de la Energía Solar Fotovoltaica en Alemania,” *Of. Económica y Comer. la Embajada España en Berlín*, pp. 6–19–20–33, 2012.
- [30] TETAPROJECT, “El Conto Energía Italiana,” 2012. [Online]. Available: <http://www.tetaproject.com/es/fotovoltaico/conto-energia.html>.
- [31] M. García, *ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y COOPERACIÓN AL DESARROLLO*, Primera Ed. Madrid, 1999, pp. 1–203.

- [32] M. Mendez, J. María, and R. Garcia, *Energía Solar Fotovoltaica*, Segunda ed. Madrid, pp. 1–245.
- [33] B. Jiménez Cisneros, *La Contaminación Ambiental en Mexico*, Primera. Mexico, 2001, pp. 1–911.
- [34] M. Vallina, *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*, Primera Ed. Madrid, 2010, pp. 1–197.
- [35] R. A. Gómez, “Diseño, Construcción y Evaluación de un Sistema Solar Autónomo de Dos Ejes para un Panel Fotovoltaico,” Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias, 2014.
- [36] V. Labarta, *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*, Primera Ed. España, 2012, pp. 1–123.
- [37] E. SunFields, “Elementos Fundamentales Instalaciones Fotovoltaicas Autónomas,” *Instalaciones Fotovoltaicas Autónomas*, 2011. [Online]. Available: <http://www.sfe-solar.com>.
- [38] A. Castejón and G. Santamaria, *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*, Primera Ed. España, 2012, pp. 1–228.
- [39] V. S. Merino, *Legislación y Normativa de los Sistemas Fotovoltaicos de Conexión a Red*, Primera Ed. España, 2008, pp. 1–55.
- [40] M. E. de la Heras, *Montaje Eléctrico y Electrónico en Instalaciones Solares Fotovoltaicas (UF0153)*, Primera Ed. España, 2011, pp. 1–307.
- [41] F. García and L. Mellado, *Eficiencia Energética y Derecho*, Primera ed. Madrid, 2013, pp. 1–281.
- [42] C. Lang, “GENERACIÓN DISTRIBUIDA,” *Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)*, 2013. [Online]. Available: http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/generacion_distribuida_1?page=1.
- [43] Johann Hernández Mora, “METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO DE LA MASIFICACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COMO OPCIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN REDES DE BAJA TENSIÓN,” Universidad Nacional de Colombia, 2012.
- [44] W. Almeida, “Generación Distribuida y su Potencial Aplicación en el Ecuador,” *CENACE*. Quito (Ecuador), pp. 83–87, 2006.
- [45] H. Kuang, S. Li, and Z. Wu, “Discussion on Advantages and Disadvantages of Distributed Generation Connected to the Grid,” *IEEE*, China, pp. 170–173, 2011.
- [46] T. Ackermann, G. Andersson, and L. Söder, “Distributed Generation,” *IEEE*, Zurich, Switzerland, pp. 195–204, 2000.

- [47] M. G. González, “Sistema de Generación Eléctrica con Pila de Combustible de Oxido Sólido Alimentado con Residuos Forestales y su Optimización Mediante Algoritmos Basados en Nubes de Partículas,” Tesis Doctoral Dirigida por Dr. F. Jurado, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control, Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2008.
- [48] O. N. Mata, D. O. Villalba¹, and R. Palma-Behnke, “Microredes en la Red Eléctrica del Futuro - Caso HUATACONDO.” IEEE, Latacunga-Ecuador, pp. 1–16, 2013.
- [49] Juan Pablo Fossati, “Revisión Bibliográfica Sobre Micro Redes Inteligentes.” IEEE, pp. 13–20, 2011.
- [50] Y. A. Muñoz, “Optimización de Recursos Energeticos en Zonas Aisladas Mediante Estrategias de Suministro y Consumo,” Tesis Doctoral Dirigida por Dr. C. Alvarez, Departamento de Ingeniería Eléctrica, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, 2012.
- [51] A. Rújula, *Sistemas Fotovoltaicos*, Primera Ed. España, 2009, pp. 1 – 336.
- [52] O. Style, *Energía Solar Autónoma*, Primera Ed. Mexico, 2012, pp. 1–178.
- [53] S. Kalogirou, *Solar Energy Engineering Processes and Systems*, Primera Ed. San Diego, California, 2009, pp. 1–755.
- [54] Ll. Jutglar, *Energía Solar*, Primera Ed. Barcelona (España), 2004, pp. 1–272.
- [55] José Roldán Viloria, *Estudio de Viabilidad de Instalaciones Solares. Determinación del Potencial Solar*, Primera Ed. España, 2012, pp. 1–120.
- [56] O. Ibarra, “Evaluación Termodinamica y Análisis Matemático de un Sistema Poliédrico Solar de Baja Temperatura para Secado Rápido,” Maestría en Energías Renovables Dirigida por Ing. Msc. José Guasumba, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2013.
- [57] “Secretaría del Ambiente,” *Datos Diarios Radiación Solar*, 2014. [Online]. Available: <http://www.quitoambiente.gob.ec/>. [Accessed: 14-Jan-2015].
- [58] E. E. QUITO, “NORMAS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION PARTE A.” Quito (Ecuador), pp. 1–162, 2014.
- [59] P. Pérez, “Instalación Fotovoltaica en Nave Industrial Para Autoconsumo Conectada a la Red Eléctrica,” Tesis Dirigida por Dr. A. Urbina, Departamento Electronica, Tecnología de Computadoras y Proyectos, UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA, 2013.
- [60] O. Ortega and A. Boada, “Procedimiento Técnico Para La Implementación De Microcentrales Eléctricas Utilizando Paneles Fotovoltaicos,” Tesis Dirigida por Ing. M. García, UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA, 2013.

- [61] ELECTROCABLES, “Características Generales de los Conductores Eléctricos.” [Online]. Available: <http://electrocable.com/productos/cobre/THHN.html>. [Accessed: 21-Feb-2015].
- [62] Consejo Nacional de Electricidad, “Regulación No. CONELEC 008/08,” pp. 1–12, 2008.
- [63] Ingenieria SEG, “Indicadores Energeticos,” 2012. [Online]. Available: http://www.segingenieria.com/pdf/indicadores/ie_12.11.pdf. [Accessed: 29-Feb-2015].
- [64] D. Pérez, J. Báez, and J. Luternauer, “PV GRID PARITY MONITOR,” pp. 1–68, 2014.
- [65] F. Lema and D. Panchi, “ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA CORTES Y RECONEXIONES DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN LOS LABORATORIOS DE INGENIERIA ELÉCTRICA,” UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, 2013.
- [66] F. Jiménez, C. L. Espinoza, and L. Fonseca, *Ingeniería Economía*, Primera Ed. COSTA RICA, 2007, pp. 1–349.
- [67] G. Piedra, “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CREACIÓN DE UNA CAJA DE AHORRO Y CREDITO PARA LA ASOCIACIÓN DE DISCAPASITADOS 3 DE DICIEMBRE DE LA CIUDAD DE LOJA,” UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, 2012.
- [68] Banco Central, “Tasa de Interés,” *Marzo*, 2015. [Online]. Available: <http://contenido.bce.fin.ec/docs.php?path=/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indice.htm>. [Accessed: 02-Mar-2015].